

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE
ET DES INDUSTRIE ALIMENTAIRES

Thèse :

Présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'I.N.P.L.

SPECIALITE : SCIENCES AGRONOMIQUES

Par :

Philippe MORANT

**CARACTERISATION DE LA FRAGILITE
ECOLOGIQUE ET DES POTENTIALITES
AGRONOMIQUES DE LA REGION DE HOUNDE
AU BURKINA FASO :**

**UTILISATION DE DIFFERENTES
TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC**

Soutenue publiquement le 18 avril 1991
devant la Commission d'Examen

Membres du jury :

MM : F. JACQUIN	Professeur à l'INPL - ENSAIA	Président
M. METCHE	Professeur à l'INPL - ENSAIA	Rapporteur
M. SEDOGO	Directeur du CNRST	Rapporteur
J.F. POULAIN	Sous-Directeur de l'IRAT	Rapporteur

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE
ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

Thèse :

Présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'I.N.P.L.

SPECIALITE : SCIENCES AGRONOMIQUES

Par :

Philippe MORANT

**CARACTERISATION DE LA FRAGILITE
ECOLOGIQUE ET DES POTENTIALITES
AGRONOMIQUES DE LA REGION DE HOUNDE
AU BURKINA FASO :**

**UTILISATION DE DIFFERENTES
TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC**

Soutenue publiquement le 18 avril 1991
devant la Commission d'Examen

Membres du jury :

MM : F. JACQUIN Professeur à l'INPL - ENSAIA Président

M. METCHE Professeur à l'INPL - ENSAIA Rapporteur

M. SEDOGO Directeur du CNRST Rapporteur

J.F. POULAIN Sous-Directeur de l'IRAT Rapporteur

**AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
LORRAINE**

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

Monsieur SEDOGO, Directeur CNRST Ouagadougou-Burkina Faso,
Monsieur POULAIN, S/Directeur IRAT/CIRAD Montpellier,
Monsieur METCHE, Professeur, ENSAIA/INPL.

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur MORANT Philippe

à soutenir devant l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse
intitulée :

**"Caractérisation de la fragilité écologique et des potentialités agronomiques de la
région de Hounde au Burkina Faso"**

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **"SCIENCES AGRONOMIQUES"**

Fait à Vandœuvre le, 4 Avril 1991

Le Président de l'INPL,
M. GANTOIS



Aux paysans de DOHOUN et TIORO

**** SOMMAIRE ****

- Sigles, abréviations et terminologie	1
- Avant-propos.....	2
 1 - INTRODUCTION	3
1.1 - La problématique de la zone.....	3
1.2 - Le cadre institutionnel	4
1.3 - La démarche mise en oeuvre	5
1.3.1 La connaissance du milieu	5
1.3.2 Les indicateurs de fertilité.....	6
 2 - METHODOLOGIE	9
2.1 - Introduction	9
2.2 - Cartographie et télédétection	10
2.3 - Les enquêtes agronomiques	11
2.4 - Les dispositifs d'expérimentation	12
2.5 - Les critères d'interprétation	13
 3 - LE MILIEU	14
3.1 - Le milieu physique	14
3.1.1 Géologie	14
3.1.2 Climat et végétation	16
3.1.3 Paysages cuirassés	22
3.1.4 Pédologie	24
3.1.4.1 Les travaux de l'ORSTOM	24
3.1.4.2 Dénominations vernaculaires	27
3.1.4.3 Caractérisations agro-pédologiques	30
3.1.4.4 Télédétection	41
3.1.4.5 Conclusion	46
3.2 - Le milieu humain	46
3.2.1 Ethnies et démographie	46
3.2.2 Phénomènes migratoires	47
3.2.3 Les villages étudiés	47
3.3 - Le milieu agricole	50
3.3.1 Emprise agricole	50
3.3.1.1 Au niveau régional	50
3.3.1.2 Les villages étudiés	51
3.3.2 Systèmes de culture et exploitations agricoles	52
3.3.3 Le rôle de la culture cotonnière	62
3.3.4 Les populations allochtones	62
3.3.5 Conclusion sur le milieu agricole	63

4 - DETERMINATION EXPERIMENTALE DES POTENTIALITES	65
4.1 - Référence à des expérimentations longue durée .	65
4.1.1 Les résultats généraux sur l'ensemble de la zone climatique	65
4.1.2 L'évolution de la matière organique	71
4.1.3 L'essai "Entretien de la fertilité" à SARIA	73
4.1.4 L'expérimentation multilocale dans la zone cotonnière du BURKINA	74
4.1.5 Conclusion	77
4.2 - Les résultats des expérimentations	78
4.2.1 Implantations et protocoles	78
4.2.2 Résultats des cultures en pots	79
4.2.3 Résultats au champ sur 59 sites.....	84
4.2.3.1 Essais "Matière Organique"	84
4.2.3.2 Essais "Fertilisation"	87
4.2.3.3 Les tests de réponse en 1988	91
4.2.3.4 Les tests de réponse en 1989	91
4.2.4 Résultats sur les unités de sol	95
4.2.5 Conclusion	96
5 - PARAMETRES INTERVENANT SUR LA PRODUCTIVITE ET SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	97
5.1 - Caractéristiques physico-chimiques des sols rencontrés dans les différentes situations de fertilité.....	97
5.1.1 Les phénomènes d'acidification	97
5.1.2 La matière organique	98
5.1.3 La capacité d'échange cationique	99
5.1.4 Les sols "physiquement dégradés"	101
5.1.5 Evolution des paramètres en culture continue.....	103
5.1.6 Seuils et valeurs critiques	108
5.2 - Expression des potentialités des sols par les cultures en pots	109
5.2.1 Expression du potentiel des sols	109
5.2.2 La réponse à la fertilisation	116
5.3 - Détermination des principales contraintes pour la production agricole.....	118
5.3.1 Relation avec les cultures en pots	118
5.3.2 Profondeur de sol et bilan hydrique	119
5.3.3 Densité du peuplement végétal	127
5.3.4 La fertilité chimique	129

5.4 - La fertilisation minérale	132
5.4.1 L'efficience de la fumure minérale	132
5.4.2 Utilisation de l'urée	140
5.5 - L'efficience des apports de matière organique	141
5.6 - Conclusion	145
6 - CONCLUSION GENERALE	148
6.1 - La méthodologie utilisée	148
6.2 - Les potentialités agronomiques de la zone de HOUNDE	153
6.3 - Fragilité écologique et indicateurs de fertilité	156
Liste des figures	158
Liste des tableaux	161
Bibliographie	164
Annexes	169

* * *

SIGLES, ABREVIATIONS ET TERMINOLOGIE

ORGANISMES ET INSTITUTIONS

BUMIGEB	Bureau des Mines et de la Géologie du BURKINA
CIRAD	Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
DETEC	Délégation Télédétection du CIRAD
IGB	Institut Géographique du Burkina
INERA	Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles du Burkina Faso
IRAT	Institut de Recherche en Agronomie Tropicale et des Cultures Vivrières (Département du CIRAD)
IRCT	Institut de Recherches du Coton et Textiles
ORSTOM	Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
SPOT	Système Probatoire d'Observation de la Terre

DIVERS

CEC : Capacité d'Echange Cationique
 ETR : Evapotranspiration réelle
 NHD : Azote Hydrolysable et Distillable
 NHnD : Azote Hydrolysable non Distillable
 NnH : Azote non Hydrolysable
 NPK : engrais ternaire utilisé au BURKINA ("engrais coton")

Pour faciliter la lecture, nous avons utilisé le mot "terroir" dans le sens où il est utilisé au BURKINA, en référence à la démarche "Gestion des Terroirs Villageois". Il correspond en réalité au "territoire", tel qu'il est utilisé par les géographes, c'est à dire l'espace géré par une communauté villageoise.

Nous utiliserons tout au long de ce document la dénomination en "bwamu" (langue parlée dans la région étudiée) des unités de sol qui sera écrite phonétiquement et entre guillemets:

"sansana" : Type 1, sol gravillonnaire
 "handé" : Type 3, sol sableux
 "laboro" : Type 2, sol argilo-limoneux
 "laboro-bondé" : Type 2.2, sol argilo-limoneux, limité au quartier de culture de Bondé

AVANT-PROPOS

Ce document a été élaboré à partir de travaux de recherche qui ont été réalisés au BURKINA FASO, dans le cadre de mes activités professionnelles au sein du CIRAD et de l'INERA. Il marque aussi l'achèvement du processus de formation continue initié en 1984 et qui s'achève par la présentation de la thèse INPL.

Je tiens à remercier le professeur F. JACQUIN, qui a accepté de m'encadrer pour ce travail et qui malgré l'éloignement géographique, n'a pas ménagé sa disponibilité et ses conseils. Je lui exprime ici ma profonde gratitude, ainsi qu'à tout le personnel du Laboratoire de Sciences du Sol de l'ENSAIA de Nancy, dans lequel j'ai été très bien accueilli.

Les responsables de l'IRAT et du CIRAD m'ont toujours soutenu et encouragé dans cette entreprise, je leur en suis très reconnaissant.

Je remercie les autorités burkinabè, et particulièrement le Ministère des Enseignements Supérieur, Secondaire et de la Recherche Scientifique pour m'avoir permis de conduire ces recherches, tout en remplissant mon contrat en coopération.

J'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à :

- à J.F. POULAIN, avec qui j'ai débuté mon métier d'agronome il y a une quinzaine d'années et qui a manifesté son soutien permanent aussi bien sur le terrain que dans ma progression universitaire.

- à mon collègue et ami M. SEDOGO, qui malgré ses hautes responsabilités m'a guidé dans la période difficile de rédaction et a accepté d'être rapporteur de cette thèse.

- à Monsieur le Professeur M. METCHE pour avoir accepté d'être associé à ce travail dans sa phase finale comme rapporteur et membre du jury.

- à mes responsables scientifiques et collègues, qui dans le cadre d'un travail d'équipe ont apporté leur contribution à la réalisation de ces travaux et la rédaction de ce document : Angé, Belem, Berger, Chéloufi, Egoumenides, Hien, Kilian, Konditamdé, Lainé, Nicou, Oliver, Ouédraogo S., Piéri, Sanou, Sanwidi, Sawadogo, Siband.

I - INTRODUCTION

1.1 - La problématique de la zone

Le BURKINA FASO est un pays de la zone soudano-sahélienne, dont les ressources sont principalement agricoles. Les productions dans cette partie de l'Afrique sont étroitement dépendantes des conditions pédo-climatiques. A l'intérieur de ce pays (274.000 km²), il existe une disparité régionale importante.

La région nord et centre a toujours été une région à forte densité de population. En raison d'une occupation importante de l'espace cultivable et de modifications climatiques, cette partie du territoire ne satisfait plus aux simples besoins alimentaires de sa population. Depuis les années 1975-1980, les agriculteurs ont abandonné leurs exploitations et émigré vers d'autres espaces plus accueillants.

L'ouest du BURKINA et notamment le pays BWABA, région naturelle bénéficiant d'un climat plus pluvieux et de superficies cultivables importantes sont devenus des terres d'accueil. Cette zone a bénéficié depuis une trentaine d'années d'encadrement technique en vue de développer la culture cotonnière. Le niveau technique des paysans, la disponibilité en intrants et en matériel agricole, les revenus monétaires dégagés par la vente du coton, ont fait de cette région la zone agricole principale du pays.

L'intensification et la modernisation de l'agriculture ont modifié et transformé le milieu et ses règles de mise en valeur. L'arrivée massive d'agriculteurs et d'éleveurs a amplifié ces phénomènes à une "échelle temps" d'une génération humaine. La région de HOUNDE où nous avons conduit nos travaux a donc été choisie en raison des changements intervenus et expliqués par :

- une augmentation importante du nombre d'exploitations et des surfaces cultivées, due à un éclatement des structures traditionnelles et à une introduction de la culture attelée bovine,

- la présence d'une culture de rente, le cotonnier, bien encadrée et commercialisée qui a permis l'intensification des systèmes de culture,

- le développement de la culture de maïs de plein champ dans ces systèmes de culture qui a rendu possible la satisfaction des besoins alimentaires, la constitution de réserves et la vente de productions vivrières à d'autres contrées,

- l'arrivée et l'installation de nombreux migrants, agriculteurs et éleveurs, venus des zones septentrionales du BURKINA à la recherche d'espaces et de conditions favorables à une agriculture productive.

Le système traditionnel de gestion de la fertilité des terres qui consistait à utiliser la jachère naturelle de régénération (entre 20 et 50 ans) est en train de disparaître, faute de terres suffisantes. Le fragile équilibre existant dans le passé, se pérennisant en raison d'une faible occupation de l'espace et de systèmes de culture à faible productivité est maintenant rompu. Nous assistons à une culture continue sur certaines parcelles et une augmentation des productions en raison de l'application de techniques performantes (travail du sol, engrais minéraux, variétés nouvelles...).

1.2 - Le cadre institutionnel

Les travaux de recherche que nous avons conduits se sont déroulés dans le milieu paysan de la zone de HOUNDE. Ils font référence à une démarche initiée depuis une dizaine d'années (POULAIN 1978) et qui se développe actuellement au sein des Programmes "Recherche sur les Systèmes de Production" de l'IN.E.R.A. et Fertilité et Gestion des Ressources de l'IRAT/CIRAD.

Le projet Gestion des Terroirs Villageois, élaboré et mis en oeuvre au BURKINA depuis 1986 a fortement contribué à orienter nos travaux vers une études des problèmes de fertilité dans le milieu réel, à l'échelle du terroir villageois. La démarche développée dans ce projet de développement est dite "participative" : dans un premier temps, sont mis en place des comités villageois, qui dans un second temps sont responsabilisés face au "développement" de leur territoire. La recherche doit s'imprégner de cette nouvelle approche, fournir les éléments techniques de ce développement intégré, et diffuser ses messages en conséquence.

De nombreux chercheurs ont travaillé dans des dispositifs expérimentaux de longue durée en milieu contrôlé et ont contribué à expliquer les évolutions de la fertilité des sols. Nous ferons référence à ces résultats acquis dans des écologies voisines. Toutefois, comme le recommande PIERI (1989a), la Recherche Agronomique se doit de compléter ces résultats par des travaux en milieu réel et de travailler dans des "observatoires agronomiques" ou des "laboratoires au champ" dans lesquels le facteur humain et social est pris en compte. Nous pensons que nos travaux contribuent à la mise au point de cette démarche.

1.3 - La démarche mise en oeuvre

1.3.1 - La connaissance du milieu

Afin de bien comprendre les différents phénomènes agronomiques, nous avons dans un premier temps caractérisé le milieu dans lequel ils se manifestent. Après avoir réuni la documentation disponible sur la zone de travail, documentation qui est surtout orientée sur la pédologie et les sciences humaines (travaux de l'ORSTOM), nous avons nous-mêmes mis en place un dispositif de caractérisation du milieu :

- **le milieu physique** : par la cartographie de la zone à partir de photos aériennes (missions 1952 et 1981) et d'images satellites (SPOT), par la caractérisation des propriétés des sols avec les paysans et par la description de profils culturels dans les sites d'expérimentations,

- **le milieu humain** : par des recensements de population dans les villages étudiés et des questionnaires auprès des populations autochtones,

- **le milieu agricole** : par la cartographie de l'occupation de l'espace et par des enquêtes dans les exploitations agricoles.

Ce travail nous a permis d'approcher de nombreuses disciplines autre que l'agronomie, et surtout de travailler et de réfléchir avec d'autres spécialistes. La mise en place d'équipes pluridisciplinaires s'avère indispensable afin de respecter la nouvelle approche du développement intégré et d'optimiser la restitution des résultats en associant les différents domaines étudiés.

Bien que dans notre travail, le domaine de l'élevage et des ressources fourragères n'ait été que survolé, nous sommes persuadés que l'intégration "agriculture-élevage" est indispensable au développement harmonieux de ces zones et qu'elle est une des conditions de conservation des ressources naturelles.

1.3.2 - Les indicateurs de fertilité

L'appréciation des problèmes de fertilité des sols s'est réalisée à quatre niveaux de perception, avec des moyens d'investigation différents :

- la région agricole
- le terroir villageois
- l'exploitation agricole
- la parcelle culturale

La pression foncière dans le domaine cultivable, l'augmentation des productions, l'utilisation de certaines techniques agricoles ne sont pas sans danger sur un milieu naturel fragile. Les règles de conservation de ce milieu instituées par les populations autochtones depuis longtemps, ne sont plus valables dans la situation actuelle.

Face à une situation de début de dégradation apparente dans certaines parcelles, mis en évidence par :

- des phénomènes d'érosion
- l'abandon de certaines parcelles
- des niveaux de rendement peu élevés, malgré l'utilisation de fumures minérales,

nous avons essayé d'identifier un certain nombre d'indicateurs du niveau de fertilité.

Ces indicateurs seront expliqués et vérifiés pour leur pertinence dans l'élaboration d'un diagnostic des situations agricoles. Dans ce milieu, nous avons tenté de déterminer les potentialités agronomiques. A cet effet, un dispositif d'expérimentation, implanté en tenant compte des différentes unités de sol individualisées par les paysans, a servi d'observatoire des phénomènes. Nous avons mesuré des paramètres sur les deux principales plantes cultivées que sont le cotonnier et le maïs. L'effet de certaines techniques (fertilisation minérale, apport de matière organique, travail du sol) a été mis en évidence globalement et en fonction des unités de sol définies ; une interprétation des résultats par site a été réalisée en fonction des différentes contraintes mises en évidence.

Nous essayerons, après interprétation des résultats et discussion, de faire des propositions techniques pour essayer de temporiser et à terme d'enrayer les phénomènes observés dans la conduite des systèmes de culture "maïs-cotonnier" rencontrés dans la zone de HOUNDE.

Tous ces éléments nous permettent d'approcher les potentialités agronomiques de la zone de HOUNDE dans le cadre des agro-systèmes actuellement pratiqués et dans une dynamique de dégradation du milieu. La méthodologie développée dans ce travail pourra, après discussion et aménagement, être utilisée dans d'autres régions et d'autres types d'agriculture.

2 - METHODOLOGIE

2.1 - Introduction

Pour réaliser ce travail, nous avons tenu compte de plusieurs échelles de perception, qui vont de l'approche régionale à l'approche parcellaire des phénomènes : pour chacune d'elles, nous expliquerons comment s'est fait le recueil des données.

En ce qui concerne l'approche régionale (petite région agricole) nous avons surtout utilisé la cartographie à partir de documents photographiques anciens (prises de vue aériennes) et de données satellitaires (SPOT) : cela nous a permis d'approcher le milieu naturel et de visualiser les modifications de mise en valeur de l'espace. Un travail complémentaire de recueil de données statistiques et bibliographiques a été nécessaire afin de réunir des informations dans les domaines ethniques et sociologiques.

Au niveau des villages étudiés, les enquêtes auprès des populations, outre les aspects démographiques et migrations, ont été orientées vers la caractérisation des systèmes de culture et l'appréciation des problèmes de fertilité dans les différentes unités de sol rencontrées. Ces investigations ont été conduites dans les limites des terroirs villageois (limites définies avec les autorités du village), et dans les exploitations agricoles présentes. L'élaboration de documents cartographiques à ce niveau visualise bien aussi certains résultats.

L'expérimentation agronomique conduite pendant 2 ans, accompagnée d'analyses de sol et de plantes a permis à l'échelle d'une parcelle paysanne bien caractérisée, d'observer le comportement des deux cultures principales (cotonnier et maïs) dans des situations de fertilité différentes. L'application d'itinéraires techniques différents nous a permis de visualiser et de quantifier l'effet de certaines pratiques (fertilisation entre autres).

2.2 - Cartographie et télédétection

Un certain nombre de cartes existent déjà sur la région, établies à différentes échelles, et certaines nous ont été très utiles : la carte pédologique de l'ORSTOM (feuille NORD-OUEST au 1/500.000), la carte géologique du BUMIGEB (feuille de HOUNDE au 1/200.000) ainsi que la carte topographique de l'IGB (feuille de HOUNDE au 1/200.000). Toutefois, l'échelle de ces cartes est petite et pour réaliser nos travaux, il était nécessaire de travailler au 1/100.000 et 1/50.000.

Notre approche cartographique a été réalisée dans un premier temps à partir de prises de vues aériennes disponibles pour la région au 1/50.000. Les couvertures 1952 et 1981 ont été interprétées visuellement au stéréoscope. Un certain nombre de documents cartographiques ont été élaborés comme par exemple :

- l'occupation du sol en 1952
- l'occupation du sol en 1981
- les unités géo-morphologiques.

Dans un second temps nous avons utilisé l'outil télédétection qui vient de se développer au BURKINA. Suite à des missions de reconnaissance de terrain, une interprétation numérique des données satellitaires a été effectuée au laboratoire de la DETEC (Délégation Télédétection) du CIRAD avec deux matériels et logiciels différents :

- NUMELEC PERICOLOR 1000 avec son logiciel intégré pour la partie reconnaissance des couleurs de sols et occupation de l'espace sur de petites superficies,

- Micro-ordinateur GOUPIL G5386 avec le logiciel DIDACTIM pour l'approche régionale et la carte des états de surface.

Les scènes du satellite SPOT que nous avons utilisées sont référencées K50 J327 et acquises aux dates suivantes : 8 juillet 1986, 11 mai 1987, 22 octobre 1988.

En raison de l'absence de photos aériennes récentes dans une région en pleine transformation, nous avons effectué une interprétation visuelle des compositions colorées standard publiées sur papier photographique couleur au 1/50.000. Les documents cartographiques ainsi établis ont été superposés à ceux réalisés à partir de prises de vues aériennes et ont permis de visualiser l'évolution du parcellaire dans les dernières années.

2.3 - Les enquêtes agronomiques

Afin de maîtriser toutes les données de population et d'occupation de l'espace dans les villages étudiés, nous avons réalisé un recensement. Toutes les exploitations agricoles présentes dans les villages concernés ont été enquêtées et nous ont permis de constituer une banque de données.

Toutes les parcelles cultivées dans les terroirs des villages étudiés ont été répertoriées, visitées et décrites avec l'aide de leur occupant*.

Certaines données, comme par exemple la superficie de chaque culture, ont été estimées, d'autres par contre comme la profondeur de sol avant l'horizon induré ont été mesurées. Nous avons tenu compte de quelques divergences, comme notamment la présence dans les limites de terroir de parcelles cultivées par des agriculteurs résidant dans des villages voisins non étudiés.

Les traitements informatiques et statistiques de ces données d'enquêtes ont été effectués sur un micro-ordinateur avec le logiciel "CSTAT" développé par le CIRAD.

* Le droit foncier au Burkina étant en pleine transformation et ne faisant pas l'objet d'investigations de notre part, nous ne ferons pas de différence entre la propriété, la jouissance, la location ou tout autre mode de faire-valoir.

Les résultats de cette enquête nous ont permis de raisonner le dispositif expérimental qui devait être mis en place : les critères que nous avons retenus sont la caractérisation des sols cultivés par des noms vernaculaires (définition et prise en compte de 4 unités ethno-pédologiques) et la durée de mise en culture des parcelles.

2.4 - Les dispositifs d'expérimentation

L'expérimentation agronomique a été conduite principalement dans des dispositifs "Blocs de Fisher" avec trois répétitions ; les essais "fertilisation" comportaient pour chaque site deux séries (cotonnier et maïs). Comme pour les essais "matière organique" ces essais ont été conduits dans la mesure du possible pendant les deux campagnes agricoles 1988 et 1989. En ce qui concerne les tests de réponse à la fumure, ils ont été mis en place pendant une seule année, dans un dispositif sans répétition en 1988, mais avec deux en 1989. La taille des parcelles était de 96 m², soit 6,40 mètres de large (huit lignes de semis) sur 15 mètres de long ; seule la partie centrale (38,4 m²) a été récoltée.

Chaque essai ou test a été implanté dans les différentes unités de sols rencontrées et si possible dans des parcelles d'âges différents : moins de cinq ans de culture, de cinq à dix ans et plus de dix ans. Nous avons rencontré quelques difficultés pour disposer de parcelles d'âge déterminé. Nous avons appliqué plusieurs itinéraires techniques, avec pour but chaque fois de mesurer l'effet d'une ou plusieurs techniques sur les paramètres observés. Parmi celles-ci, la fertilisation minérale à base de plusieurs types de fertilisants minéraux disponibles a certainement été la plus étudiée. Nous avons aussi observé l'impact d'autres techniques comme la fertilisation organique et le travail du sol.

Sur ces essais et tests, nous avons procédé à un certain nombre d'observations concernant le sol (analyses physico-chimiques) et les plantes cultivées que sont le maïs et le cotonnier (densité, composantes du rendement, diagnostic foliaire).

2.5 - Les critères d'interprétation

L'interprétation des résultats d'analyse de sol a été faite à partir de synthèses bibliographiques, BOYER (1982), PIERI (1989). Des seuils, des valeurs critiques, moyennes et optimales ont été répertoriées et confrontées avec les résultats obtenus dans les situations que nous avons rencontrées.

Pour compléter les analyses de sol effectuées en laboratoire, nous avons utilisé les échantillons prélevés pour conduire une culture de fonio (*digitaria exilis*) en micro-pots (avec mesure du poids de matière sèche à 3 semaines), dans un dispositif à trois répétitions. Cette expérimentation en milieu parfaitement contrôlé avait pour but de mettre en évidence le potentiel de l'horizon 0-20 cm des situations de notre étude, en l'absence des nombreux facteurs extérieurs que nous avons rencontrés dans le cadre de l'expérimentation au champ.

3 - LE MILIEU

Dans notre travail, la connaissance du milieu était indispensable afin de bien comprendre les processus agronomiques qui se déroulaient dans les parcelles cultivées des deux villages de DOHOUN et TIORO. Le milieu physique a été caractérisé à partir de documents cartographiques et de données d'archives dans un premier temps ; puis, pour la partie "pédologie", nous avons nous-mêmes procédé à des investigations, notamment dans la définition des unités ethno-agro-pédologiques. Les enquêtes dans le milieu agricole nous ont permis de déterminer les types d'exploitations agricoles et la gestion de l'espace par les différentes communautés villageoises présentes.

Nous avons consacré environ une année à ce travail de caractérisation du milieu afin de disposer du maximum d'informations relatives à "l'environnement" des parcelles suivies pendant les deux années d'expérimentation.

La région dans laquelle nous avons travaillé est située dans l'Ouest du Burkina, à environ 100 kilomètres de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Ouagadougou (figure 1). Cette région est située dans le BWAMU (pays des BWABA) ; c'est une importante région pour la culture cotonnière. La ville de HOUNDE (10.000 habitants) est une préfecture et possède une usine d'égrenage de coton.

Les villages de DOHOUN, TIORO sont situés à une quinzaine de kilomètres au nord-ouest de HOUNDE. La superficie du terroir de DOHOUN est d'environ 11.000 hectares, celle de TIORO de 3000 hectares (figure 1).

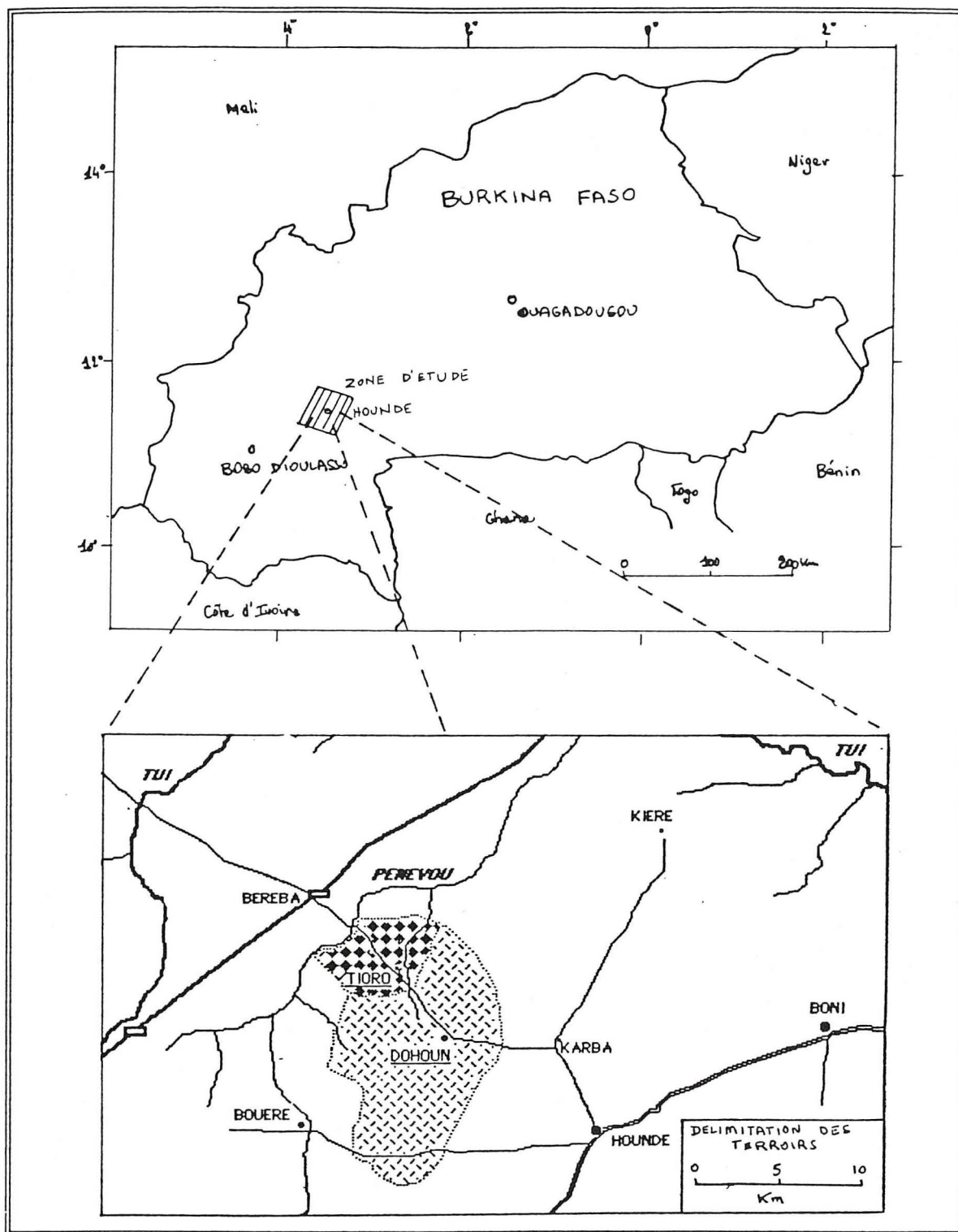


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

3.1 - Le milieu physique

3.1.1 - Géologie

La région dans laquelle nous sommes intervenus est constituée du socle précambrien rapporté au Birrimien (deux milliards d'années). Les roches sont des roches volcano-sédimentaires, qui ont été plissées et métamorphisées lors du phénomène birrimien et présentent une orientation NNE-SSO :

- les schistes birrimiens (fort altérés) pour le groupe des roches sédimentaires,
- les roches andésitiques pour les roches basiques d'origine volcanique (andésites, amphibolites, andésites quartziques), couramment appelées "roches vertes".

A la fin du tertiaire (pliocène), sous forêt tropicale humide, la migration du fer réduit en profondeur a engendré un cuirassement généralisé, appelé "topographie cuirassée fondamentale" (Beaudet et Coque 1986). Par la suite (au quaternaire) un certain nombre de cuirasses se sont formées sur les différents glacis. Sur les andésites, les cuirasses latéritiques se sont généralement bien développées ; ceci explique la présence de nombreux plateaux latéritiques tabulaires, plus ou moins entaillés dans la région de HOUNDE.

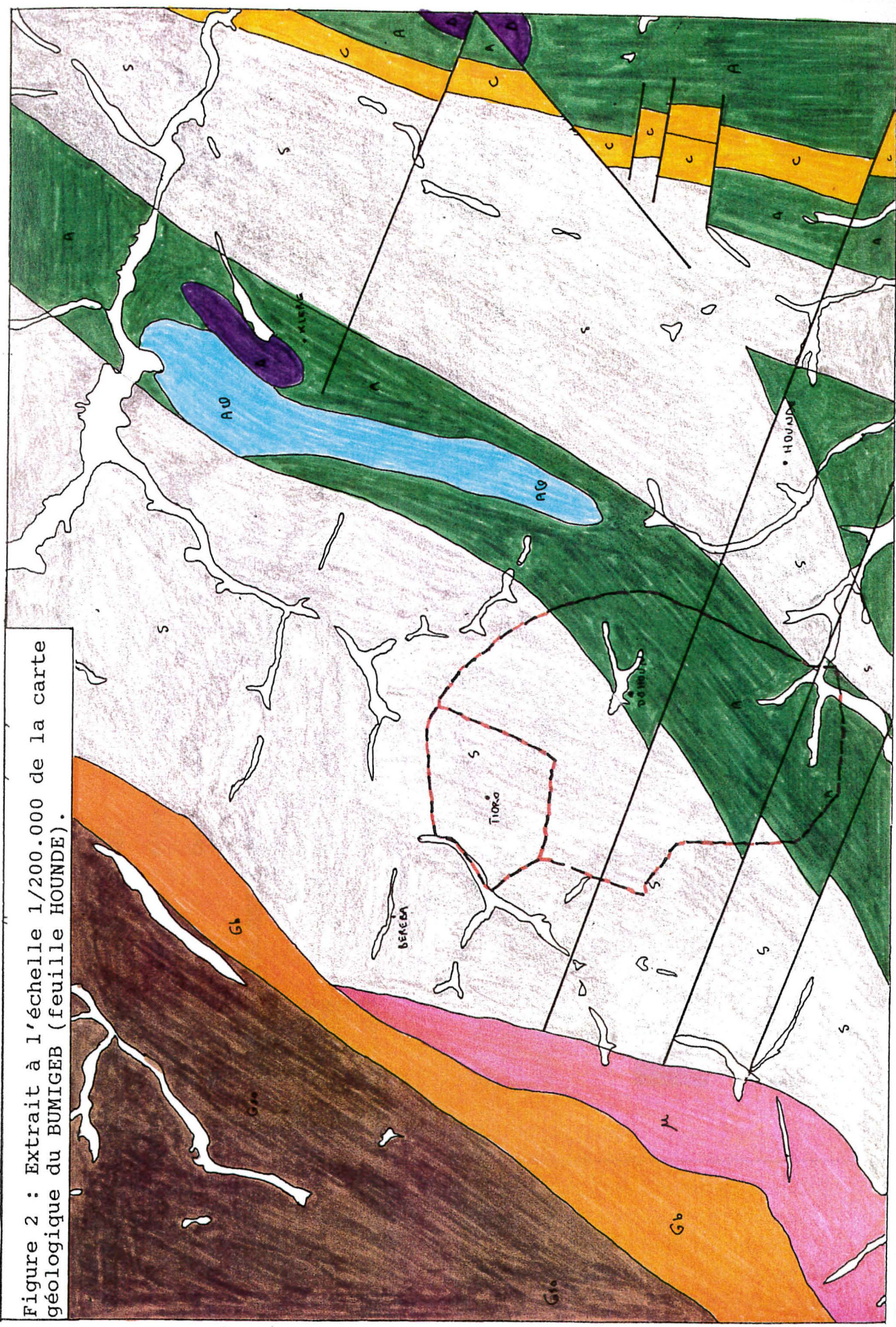
Durant le quaternaire, des ennoyages alluvionnaires ont été mis en place le long des cours d'eau, puis ont été modelés par le ruissellement.

D'après la carte géologique de la région (figure 2), les villages de TIORO et DOHOUN sont situés à la fois sur les formations schisteuses et andésitiques.

3.1.2 - Climat et végétation

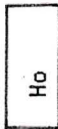
La région concernée bénéficie d'un climat tropical sec à une saison des pluies d'environ cinq mois allant de mai à octobre, et d'une saison sèche. La zone climatique est la partie nord de la zone soudanienne.

Figure 2 : Extrait à l'échelle 1/200.000 de la carte géologique du BUMIGEB (feuille HOUNDE).



CARTE GEOLOGIQUE DE HAUTE-VOLTA
HOUNDE AU 1/200.000 BUMIGEB

FORMATIONS SUPERFICIELLES



Ho Alluvions de fonds de vallées et de basses terrasses

Cuirasses latéritiques

FORMATIONS DU SUBSTRATUM

PRECAMBRIEN SUPERIEUR

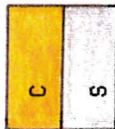


Gso Grès de Sotuba

Gb Grès de base

PRECAMBRIEN BIRRIEN

*Ensemble de roches sédimentaires

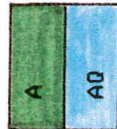


C Formation gréseuse et conglomératique

S Formation schisteuse

*Ensemble de roches basiques

- Formations métavolcaniques



A Roches principalement andésitiques

A0 Roches principalement andésitiques quartziques

- Formations hypabyssales à caractère principalement basaltique



Md Métadolérites à structure doléritique visible et minéralogie épizonale

*Ensemble de roches granitiques



M Migmatites, gneiss et granites d'âge birrien indifférenciés

Le régime pluviométrique depuis 1922 sur la région de HOUNDE montre un certain nombre de variations cycliques importantes.

Sur la figure 3, les séries pluviométriques présentées ne concernent que les périodes de mai à fin octobre (période agricole). La pluviométrie de cette période représente en moyenne 95% du total pluviométrique annuel. La variabilité inter-annuelle est très forte et les écarts importants. La méthode des moyennes mobiles pondérées (Albergel 1985) permet d'atténuer les écarts entre totaux pluviométriques annuels par la prise en compte de la pluviométrie des années précédentes (incidence importante sur la recharge des nappes). La figure 3 représente les pluviométries de HOUNDE calculées suivant cette méthode et montre des cycles climatiques et surtout une tendance à la baisse dans les vingt cinq dernières années.

Le régime pluviométrique des années pendant lesquelles nous avons conduit l'expérimentation agronomique été caractérisé par des totaux annuels (mai à octobre) proches de la moyenne des 60 dernières années : 900 mm. Par contre la répartition annuelle, comme l'indique la figure 4 ne montre pas une répartition régulière des pluies durant la saison de culture (fin mai à fin octobre). A titre d'exemple il n'a pas plu entre le 4 et le 19 juin à DOHOUN en 1989 alors qu'on a mesuré 140 mm en 3 jours à HOUNDE en septembre 1988. Il existe aussi une hétérogénéité locale au cours de la saison des pluies, notamment lors des fortes pluies.

En ce qui concerne les agro-systèmes, nous retiendrons que le régime pluviométrique est irrégulier et qu'il entraîne des disparités dans les pratiques culturales et dans le développement végétatif des plantes cultivées.

La formation végétale rencontrée dans cette zone est une savane avec tapis de graminées sous un étage arboré. Les arbres rencontrés sont principalement le karité (*Butyrospermum parkii*), le néré (*Parkia biglobosa*), le *Ptérocarpus érinaceus*, le *Terminalia avicennoides*, le *Detarium microcarpum* et le *Ximenia americana* ; les espèces de graminées sont l'*Andropogon gayanus*, l'*Andropogon pseudapricus*, le *Pennisetum purpureum* et le *Pennisetum pedicellatum*.

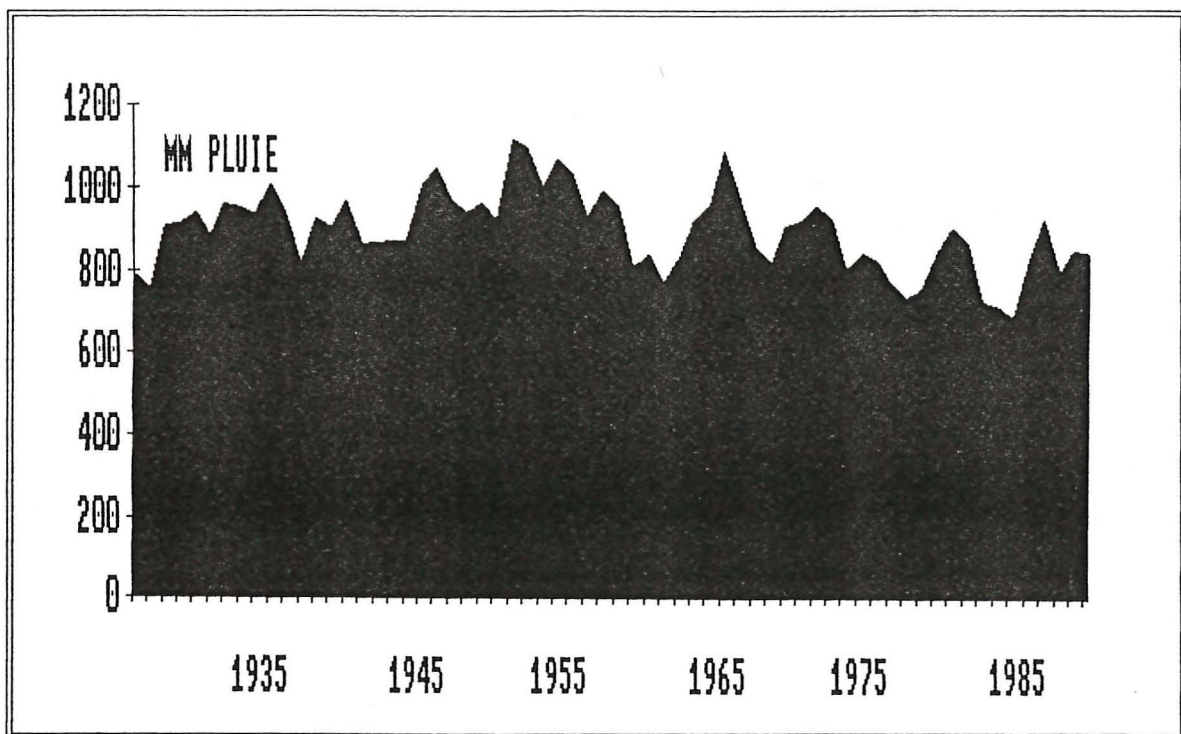


Figure 3 : Totaux pluviométriques enregistrés à HOUNDE pendant la saison des pluies (mai à octobre) entre 1922 et 1989 ; méthode des moyennes mobiles (Albergel 1985).

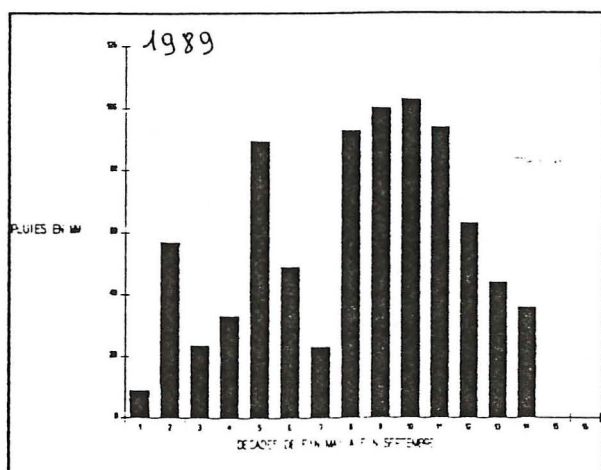
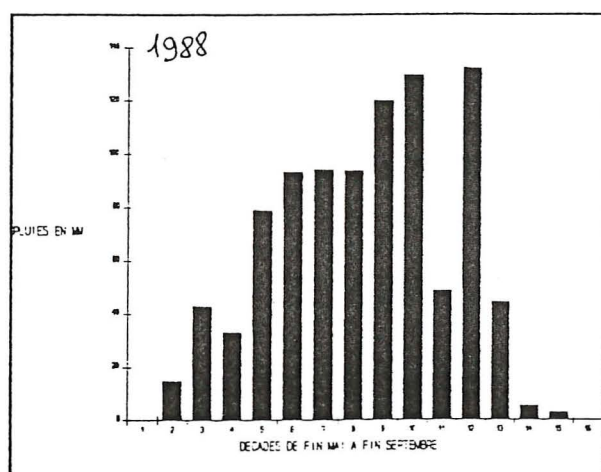
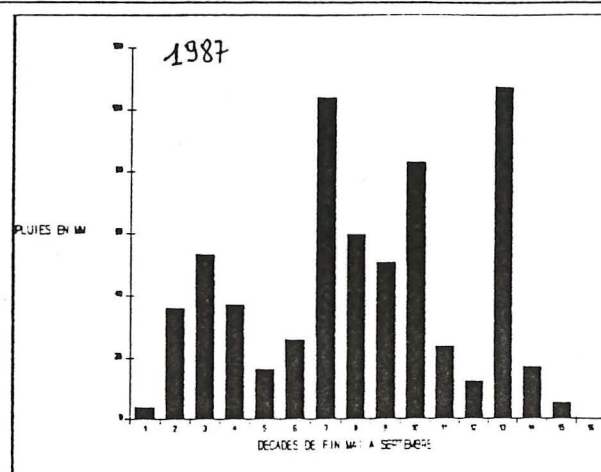


Figure 4 : Pluviométries décadaires observées à HOUNDE en 1987, 1988, 1989.

Sur les bowé*, la végétation est plutôt de type sahélienne avec des espèces arborées de la famille des acacias : *Acacia seyal*, *Acacia sénégale*, et des espèces herbacées comme le *Loudetia togoensis*.

Dans les bas-fonds et galeries forestières, nous rencontrons d'autres espèces arborées comme le caïlcedrat (*Khaya senegalensis*), l'*Anogeissus leiocarpus*, le *Cassia siberiana*.

Dans les zones en culture, il ne reste que les arbres qui sont conservés pour des raisons de cueillette comme le néré et le karité : on utilise alors le nom de "savane-parc".

3.1.3 - Paysages cuirassés

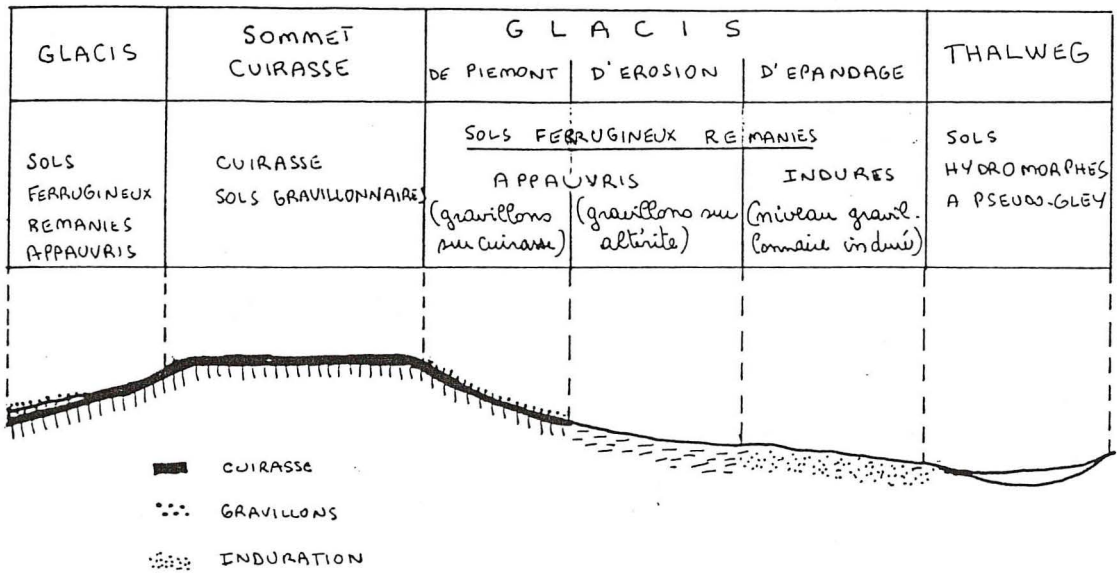
La majorité des reliefs restant dans la région sont ces sommets cuirassés, appelés "bowal" (ou "oualla" en "bwamu") : tables à très faible pente et à l'allure rigide, ils sont délimités souvent par une corniche abrupte et surplombent les glacis et les dépressions.

Ces reliefs résiduels en voie de démantèlement ont une très grande incidence sur l'organisation et le fonctionnement des glacis qu'ils commandent (fourniture de matériaux détritiques, départ des eaux de ruissellement, réserve d'eau pour les nappes phréatiques). L'agriculture est actuellement pratiquée dans les différentes unités de paysage ainsi façonnées (figure 5).

Dans certaines situations, nous retrouvons des collines de roches andésitiques (appelées "wekouni" en "bwamu"), présentant un relief de type appalachien, mais de faible dénivellé (entre 50 et 200 mètres).

* Bowé : pluriel de bowal, d'origine peuhl : table cuirassée.

EN REGION DE SCHISTES BIRIMIENS



EN REGION DE ROCHES ANDESITIKES

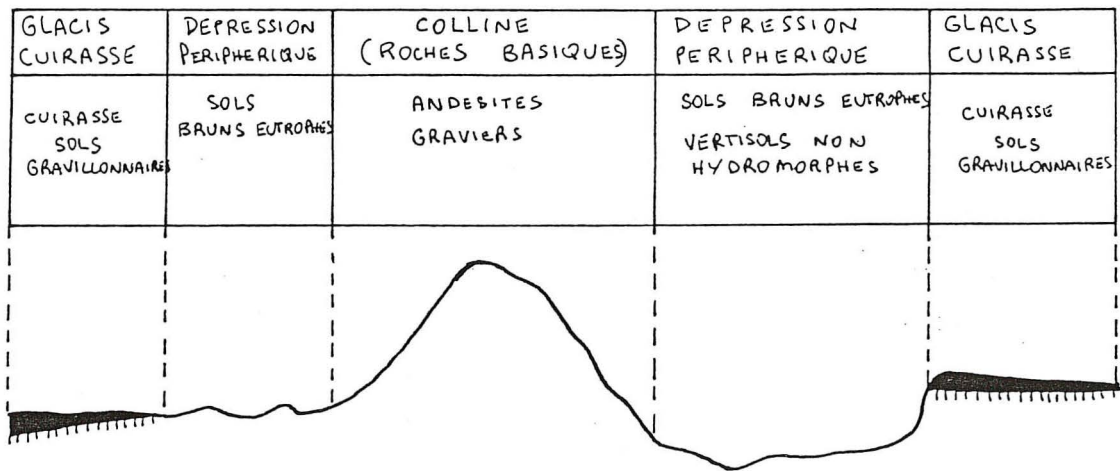


Figure 5 : Principales unités du modelé de la région de HOUNDE.

3.1.4 - Pédologie

3.1.4.1 - Les travaux de l'ORSTOM

D'après les pédologues de l'ORSTOM (LEPRUN et MOREAU) qui ont reconnu et cartographié les sols de la région nous rencontrons principalement des sols à sesquioxides et à matière organique rapidement minéralisée (sols ferrugineux tropicaux lessivés remaniés appauvris et (ou) indurés).

Dans de nombreuses situations, ces sols présentent en profondeur une cuirasse ou une carapace ; la pédogénèse caractérisée par des périodes d'hydromorphie dans le profil et des périodes de dessiccation, est de type ferrugineuse. Dans la région, sur les roches basiques et dans les dépressions périphériques autour des collines, les sols sont des sols à mull des régions tropicales (sols bruns eutrophes modaux). L'absence d'horizon induré en profondeur et la richesse en bases permettent une pédogénèse brunifiante.

La carte ORSTOM a été établie au 1/500.000 (figure 6) d'après un certain nombre de profils de référence et une interprétation de photos aériennes : dans les sites où nous sommes intervenus, les pédologues ont déterminé des sols ferrugineux tropicaux sur matériau gravillonnaire (cuirasse et ses abords) (unités 27 et 29) ou sur matériau limono-argileux (unité 26). Les sols bruns eutrophes (unité 13) indiqués sur la carte dans le sud du terroir de DOHOUN certainement en raison de la présence de collines de roches andésitiques n'ont pas été retrouvés dans nos enquêtes et notre dispositif d'expérimentation.

Au paragraphe 3.1.4.4, nous expliquerons comment, au moyen de la télédétection et à une plus grande échelle (1/34.000), nous avons complété cette classification en essayant de différencier d'après la couleur et la rugosité de l'état de surface de certaines unités de sol dans le parcellaire cultivé (sols à surface très claire, claire, rouge foncé) ; nous avons recoupé ces informations avec la caractérisation par les paysans (noms vernaculaires) des grandes unités de sol (à l'échelle cette fois des parcelles paysannes).

Figure 6 : Extrait au 1/200.000 de la carte pédologique établie par l'ORSTOM (feuille NORD-OUEST).



CARTE PEDOLOGIQUE DE RECONNAISSANCE DE HAUTE-VOLTA OUEST-NORD AU 1/500.000 ORSTOM DAKAR

SOLS PEU EVOLUES

d'origine non climatique, d'érosion, réiques

- * Sur matériau gravillonnaire

Association à lithosols sur cuirasse ferrugineuse

25

SOLS A MULL

des pays tropicaux
Sols bruns eutrophes

- * MODAUX sur matériau caillouteux issu de roches basiques

Association à sols bruns eutrophes hydromorphes sur
matériau remanié riche en éléments grossiers et à
vertisols topomorphes grumosoliques modaux

- * HYDROMORPHES sur matériau issu de roches basiques

Association à vertisols topomorphes grumosoliques
modaux

27

SOLS HYDROMORPHES

minéraux, peu humifères à pseudo-gley à taches et concrétions

- * FACIES STRUCTURE

Association à sols hydromorphes vertiques sur alluvions
argileuses ou argilo-sableuses

- * FACIES MODAL

Sur matériau limono-argileux à argileux

Association à sols hydromorphes peu humifères à
redistribution de calcaire, nodules calcaires sur
alluvions argileuses

30

SOLS A SESQUIOXYDES ET A MATIERE ORGANIQUE RAPIDEMENT MINERALISEE Sols ferrugineux tropicaux

- * LESSIVES OU APPAUVRIS hydromorphes sur matériau
sablo-argileux à argileux

Association à sols hydromorphes à pseudo-gley à taches
et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux

- * LESSIVES OU APPAUVRIS hydromorphes sur matériau
limono-argileux à argileux

Association à sols hydromorphes à pseudo-gley à taches
et concrétions sur matériau limono-argileux à argileux

- * REMANIES APPAUVRIS sur matériau gravillonnaire et cuirasse
ou altération de schistes

Association à sols ferrugineux remaniés indurés sur
matériau gravillonnaire et à lithosols sur cuirasse

- * REMANIES APPAUVRIS sur matériau gravillonnaire et cuirasse
ou altération kaolinique

Association à sols ferrugineux remaniés indurés sur
matériau gravillonnaire

- * REMANIES INDURES sur matériau sableux à argilo-sableux
à niveau gravillonnaire

Association à sols ferrugineux lessivés hydromorphes
sur matériau polyphasé sablo-argileux à arg.-sableux

Les sols recouverts de gravillons dans ces paysages sont facilement repérables et ils y occupent une place importante. Ces sols, en raison de leur teneur en gravillons (jusqu'à 50 %) possèdent des propriétés particulières : les capacités d'infiltration sont améliorées par rapport aux autres sols à condition que l'horizon induré ne soit pas trop proche de la surface. L'évolution de la matière organique dans ces sols est tributaire de ces situations.

Une diminution relative de la pluviométrie de ces vingt dernières années a eu pour conséquence l'abaissement du niveau des nappes phréatiques et un déplacement de l'activité agricole vers les zones de bas-fonds entraînant un abandon progressif des "terres hautes", gravillonnaires (d'après étude diachronique des prises de vues aériennes 1952-1981).

En ce qui concerne la circulation des eaux dans ces paysages, nous avons observé dans certains sites des dégâts d'érosion dus au ruissellement ainsi que des phénomènes d'engorgement dans les profils. Le glaçage en surface et le blanchiment de certains sols sont les conséquences d'une dégradation des propriétés physico-chimiques de ceux-ci.

3.1.4.2 - Dénominations vernaculaires

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre "Méthodologie", il est apparu dans l'enquête préliminaire conduite dans les villages concernés, que les paysans utilisaient une dénomination en langue "bwamu" des unités de sol et (ou) de paysage rencontrées dans leurs terroirs. D'après la carte pédologique ORSTOM, la plus grande partie des surface cultivées sont sur l'unité pédologique des sols ferrugineux tropicaux. Trois grandes unités ethno-pédologiques ont pu être retenues dans le parcellaire cultivé :

"sansana" : sols avec une forte proportion de gravillons latéritiques (rouges)

"laboro" : sols argilo-limoneux (plus ou moins blanchis)

"handé" : sols sableux

D'autres unités ont été identifiées dans les zones non cultivées pendant la durée de l'étude, mais n'ont pas fait l'objet d'enquêtes descriptives :

"oualla" : butte cuirassée ou cuirasse en surface avec blocs détritiques

"wekouni" : colline de roches andésitiques (roches vertes)

"taro" : sols très argileux, inondables et situés en bas de certaines topo-séquences (noirs).

Nous avons de notre propre initiative procédé à une subdivision de la catégorie "laboro" en différenciant la majorité des parcelles de cette unité, de certaines cultivées dans le quartier de culture dénommé "BONDE" qui présente un paysage différent de l'ensemble du terroir (présence de collines de roches andésitiques). Le descriptif des différents profils cultureux dans les sites situés sur cette unité n'a pas permis d'identifier des sols bruns eutrophes comme nous l'avions imaginé (paysage, carte ORSTOM).

Les principales conclusions de cette enquête sur l'ensemble des parcelles cultivées des deux villages de TIORO et DOHOUN font apparaître que :

- les unités "sansana" (Unité 1) et "laboro" (Unité 2.0) concernent à elles seules 90 % des superficies cultivées (tableau 1) et la répartition est légèrement différente entre les deux villages,

- il n'y a pas de différence dans la répartition des différentes unités entre les catégories de populations résidants dans les villages (tableau 2). La catégorie d'exploitants que nous avons appelé "non résidents" sont des habitants de villages voisins (LOFIKAHOUN, BOUERE, HOUNDE) qui cultivent dans les terroirs étudiés. Nous les avons comptabilisés dans les superficies totales, mais ils ne seront pas pris en compte dans les enquêtes descriptives des unités de sol. La répartition des unités est différente dans cette catégorie (65 % de "laboro" (Unité 2.0)) : ces agriculteurs ont donc colonisé principalement les sols "laboro".

Tableau 1 : Superficies en hectares des différentes unités de sol dans toutes les parcelles cultivées dans les deux villages.

	Dohoun	%	Tioro	%
sansana 1	530	40	304	49
laboro 2	557	44	237	38
handé 3	70	6	81	13
TOTAL	1157		622	

Tableau 2 : Superficies en hectares des différentes unités de sol dans toutes les parcelles cultivées par les différents groupes ethniques.

	autochtones	migrants	non résidents	TOTAL	%
sansana1	289	364	181	834	47
laboro 2	235	186	373	794	44
handé 3	71	67	13	151	8
TOTAL	595	617	567	1779	

L'analyse des unités rencontrées dans les principaux quartiers de culture permet de caractériser la dominante de chacun de ces quartiers :

- les quartiers à dominante de sols gravillonnaires, dans lesquels le travail est plus facile, et où les phénomènes d'érosion sont limités :

* quartier "MOUNA"

105 hectares cultivés

88% de "sansana" (Unité 1)

* quartier "DABOUE"

89 hectares cultivés

77% de "sansana" (Unité 1)

- les quartiers où nous avons trouvé les plus anciennes parcelles, souvent citées comme des parcelles de mauvaise fertilité, sauf pour les cultures en bordures de bas-fonds :

* quartier "HAMBIRI"

121 hectares cultivés

52 % de "handé" (Unité 3)

- les quartiers où le travail des sols est difficile et nécessite souvent l'utilisation de la traction animale :

* quartier "LOMPONI"

87 hectares cultivés

63% de "laboro" (Unité 2.0)

* quartier "BONDE"

401 hectares cultivés

68% de "laboro-bondé" (Unité 2.2)

Ces quartiers présentent des proportions très variables des trois unités de sol. L'âge moyen des parcelles varie aussi suivant certains quartiers : par exemple il est de 11 années à DABOUE, et de 5 années à BONDE, nouveau quartier de culture, défriché il y a quelques années seulement (extension du parcellaire).

3.1.4.3 - Caractérisations agro-pédologiques

Dans notre approche, nous avons utilisé un certain nombre de techniques afin de caractériser les différentes unités de sol identifiées par les agriculteurs :

- les résultats d'enquêtes descriptives
- les analyses physico-chimiques de laboratoire
- les profils culturaux

3.1.4.3.1 - Les résultats d'enquêtes descriptives

Dans l'interview avec les paysans des deux villages (hormis les non-résidents venant des villages voisins), nous avons essayé de recenser les propriétés principales des unités de sol, telles qu'elles sont perçues par les exploitants eux-mêmes (tableau 3).

Tableau 3 : Données quantitatives caractérisant les trois unités de sol dans les parcelles occupées par les résidents des deux villages.

	Ensemble	So1 1 "Sansana"	So1 2 "Laboro"	So1 3 "Handé"	
Nombre parcelles	428	250	141	37	
Superficie (ha)	1224	654	431	139	
Surface moyenne	2,8	2,6	3,1	3,7	**
Age moyen	5,4	5,1	5,4	7,4	**
Profondeur Dalle en cm	40	29	54	53	**
Durée estimée d'exploitation	11,4	10,5	12,6	13,2	**

Analyse statistique : Analyse de variance à un facteur ; n = 429 ;

(**) différence significative à 1% entre les groupes de sol

Surface moyenne (F = 5,3) ; Nombre d'années (F = 5,2) ;

Profondeur dalle (F = 575) (C.V. sol 1 = 20%, C.V. sol 2 = 16 %, C.V. sol 3 = 18 %)

Durée exploitation (F = 19,1)

Sur l'unité "handé" (Unité 3) la superficie moyenne des champs rencontrés est de 3,7 hectares, donc nettement supérieure à celle des autres unités (2,6 et 3,1 hectares) : la facilité de travailler ces sols (sableux) pourrait expliquer ces surfaces plus grandes. L'âge moyen d'années de culture sur cette même unité est lui aussi nettement supérieur (7,4 années), ainsi que la durée totale estimée de mise en culture.

Sur l'unité "sansana" (Unité 1), la profondeur de la "dalle" est la caractéristique la plus discriminante : c'est sur cette unité que nous rencontrons les sols les moins profonds (29 cm). L'expression "profondeur de la dalle" utilisée dans l'enquête terrain signifie en réalité la mesure (à la tarière) de la profondeur à laquelle apparaît un horizon induré ou en voie d'induration : nous n'avons pas différencié la cuirasse ou la carapace. .

En fonction du pourcentage de réponses qualitatives ou affirmatives (oui/non) que les paysans ont données pour l'unité de sol sur laquelle ils cultivent, un certain nombre de propriétés se dégagent (tableau 4) :

- les dénominations vernaculaires se rapprochent très bien de la caractérisation que nous avions pressentie :

"sansana" (Unité 1) = gravillonnaire (99% des réponses)

"laboro" (Unité 2.0 et 2.2) = argileux (98%)

"handé" (Unité 3) = sableux (97%)

- les sols gravillonnaires, présents presque exclusivement sur l'unité "sansana" possèdent dans 48% des cas des blocs latéritiques qui proviennent du démantèlement d'une butte cuirassée ou d'un "bowé" ; dans 34% des réponses, la "dalle" affleure sur une partie du champ ou de l'exploitation agricole. Ces sols s'assèchent très rapidement et ne sont pas recommandés pour la culture du riz.

- les sols "laboro" (Unités 2.0 et 2.2) à couleur dominante gris-clair ont une réserve utile en eau plus importante (84% ne s'assèchent pas rapidement) mais ne sont pas conseillés pour la culture de l'arachide.

- en ce qui concerne l'unité "handé" (Unité 3), nous pouvons retenir que le facteur sensible à l'érosion se singularise par rapport aux autres unités (27% des parcelles rencontrées déclarées "sensibles à l'érosion").

La différence de couleur entre chacune des unités peut s'expliquer par un drainage différent. Les phénomènes d'engorgement ont certainement été sous-estimés par les agriculteurs, car la question était mal posée et pas assez expliquée (6 à 8 % dans toutes les unités) : nous voulions apprécier à la fois l'engorgement (difficulté d'évacuation en profondeur des eaux pluviales infiltrées) et l'hydromorphie (présence d'une nappe d'eau libre plus ou moins temporaire dans le sol). Les questions relatives à l'enherbement et aux techniques de sarclage n'ont pas données des résultats intéressants pour la discrimination des unités.

En conclusion de ces recensements, nous pouvons dire que la dénomination vernaculaire est basée sur une caractérisation de l'horizon travaillé, et surtout sur ses propriétés texturales : celles-ci conditionnent le comportement de ce sol face aux techniques culturales que le paysan désire mener.

Tableau 4 : Données qualitatives sur les 3 classes de sol exprimées en pourcentage des réponses enregistrées.

	Sol 1 "sansana"	Sol 2, 2.2 "laboro"	Sol 3 "handé"
Nombre de parcelles	250	141	37
Caractérisation gravillonnaire argileux sableux	99	98	97
Couleur marron gris clair gris sombre	91 6	84 11	14 76
Texture moyen moyen léger léger	94	75	27 41
Présence de gravillons	98	9	8
Présence de blocs latérite	48	1	0
Dalle apparente	34	1	0
Assèchement rapide	74	16	35
Engorgement	8	6	8
Sensible à l'érosion	12	10	27
Culture déconseillée riz arachide	95 5	74 43	81 8
Enherbement rapide	74	86	84
Sarclage facile en sec	77	88	84
Sarclage facile en humide	98	82	100

En marge du recensement parcellaire, nous avons conduit une enquête agronomique sur les problèmes de fertilité exprimés par les paysans, complétée par des mesures de pH. Le but était de recueillir sur 59 parcelles, un certain nombre d'appréciations des phénomènes de fertilité par les paysans et de pratiquer une mesure in situ du pH dans l'horizon 0-20 cm.

Le principal résultat obtenu est que les agriculteurs déclarent observer une "baisse de fertilité" dans 60 % des cas, que celle-ci s'exprime par un "enherbement excessif" (89 %) et par la "présence de striga" (49 %) ; 50 % d'entre eux souhaitent déplacer leur champ. Les mesures du pH eau (moyenne de 6,35) varient de 4,99 à 7,15. Toutefois aucune liaison n'a pu être mise en évidence avec les réponses qualitatives.

3.1.4.3.2 - Les analyses physico-chimiques

Un certain nombre d'analyses physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire du CIRAD à MONTPELLIER sur des échantillons de sols prélevés dans les sites expérimentaux de 1988 (59 sites au total) : un prélèvement a été effectué dans l'horizon 0-20 cm (10 carottes par site) avant le début de la saison des pluies et avant toute intervention (préparation du sol et apports). Nous avons limité notre prélèvement à l'horizon 0-20 cm, considéré comme l'horizon travaillé dans les systèmes de culture actuellement pratiqués : c'est aussi l'horizon que les paysans ont caractérisé. Bien que ce dispositif expérimental ne soit pas représentatif de toutes les parcelles cultivées dans les deux villages, les résultats obtenus nous donnent des informations intéressantes.

Les résultats de l'analyse granulométrique (tableau 5, figure 7) pour chaque unité de sol, telle que nous les avons prises en compte dans le schéma du dispositif d'expérimentation sont présentés de la façon suivante :

- "sansana" (Unité 1)
- "handé" (Unité 3)
- "laboro" (Unité 2.0)
- "laboro-bondé" (Unité 2.2) dans le quartier de BONDE

La répartition des différentes fractions montre des différences significatives entre unités de sol différentes : les sols "handé" (Unité 3) présentent un pourcentage de sables beaucoup plus important que pour les autres sols, alors que les sols "laboro" (Unité 2.0 et 2.2) se distinguent par un taux de limons élevé.

Le diagramme textural (figure 8) nous montre une bonne concordance entre les noms vernaculaires et la classification granulométrique ; seuls quelques points particuliers se détachent des grands groupes. Les sols appelés "handé" par les paysans figurent dans le diagramme dans les classes "texture sableuse" et "sable limoneux". Les sols "sansana" sont représentés dans les classes "texture sablo-limoneuse", "texture limoneuse" et "texture limono-argileuse". Il faut noter la présence d'une forte proportion d'éléments grossiers (gravillons latéritiques) dans les sols sansana qui ne sont pas pris en compte dans le diagramme. Les sols "laboro" et "laboro-bondé" font partie des classes "texture limoneuse" et "limon sableux".

Les paramètres de l'analyse chimique (tableau 5) montrent aussi des différences significatives. Toutefois, les principaux résultats confirment que dans l'ensemble, les propriétés chimiques des quatre unités de sol sont voisines, et caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux lessivés : une faible teneur en carbone et un faible pouvoir absorbant et donc une pauvreté relative en éléments chimiques (phosphore, potassium, calcium et magnésium). Au niveau de la différenciation des unités de sol que nous avons employée, seuls les points suivants peuvent retenir l'attention (figure 9) :

- une plus forte teneur en carbone des sols "sansana" (Unité 1), que l'on doit relativiser à la fraction "terre fine" sur laquelle les analyses ont été conduites : dans certaines situations, le volume de terre occupé par les gravillons (inertes) peut atteindre 50 pourcent.

- les sols "laboro-bondé" (Unité 2.2) présentent une capacité d'échange et une teneur en bases échangeables plus importantes que dans les autres unités ; la teneur en éléments fins, l'ancienneté des situations (âge moyen : 4 ans) et la situation dans un paysage de collines birrimiennes (roches andésitiques plus riches en bases) peuvent expliquer certainement ces données.

- les sols "handé" (Unité 3) présentent les caractéristiques les plus défavorables, leur texture sableuse pouvant accélérer les processus de lessivage.

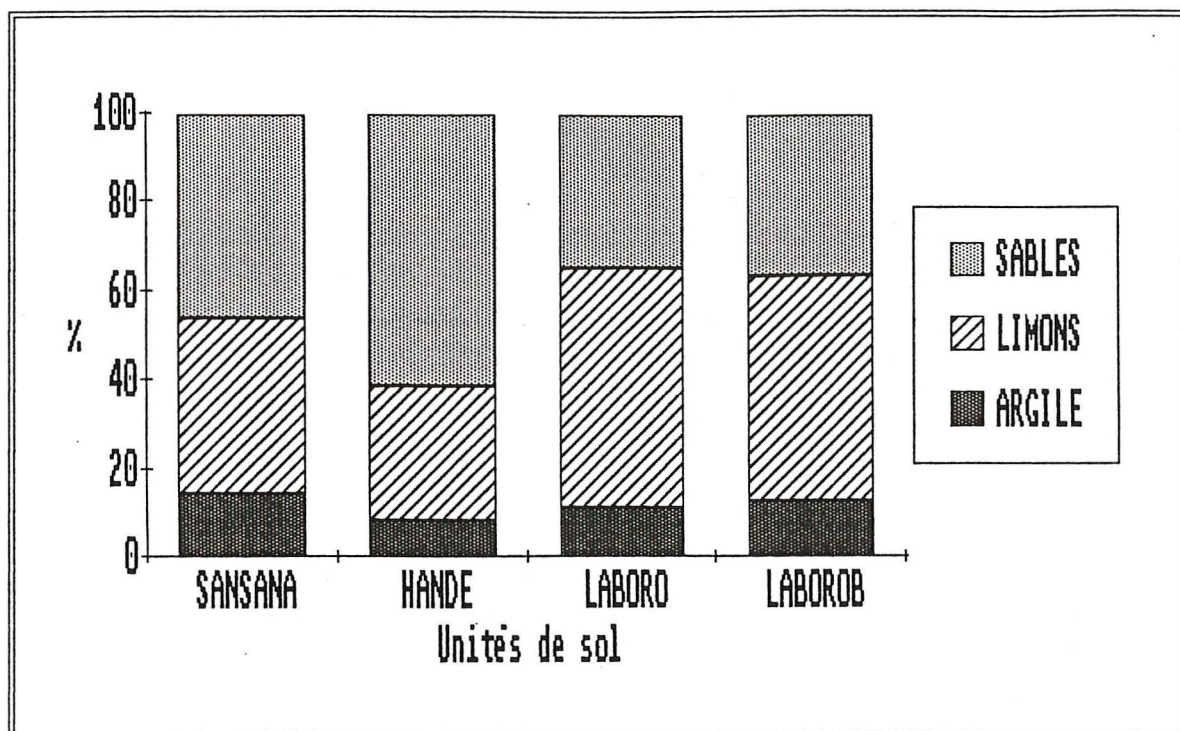


Figure 7 : Caractéristiques granulométriques des différentes unités de sol.

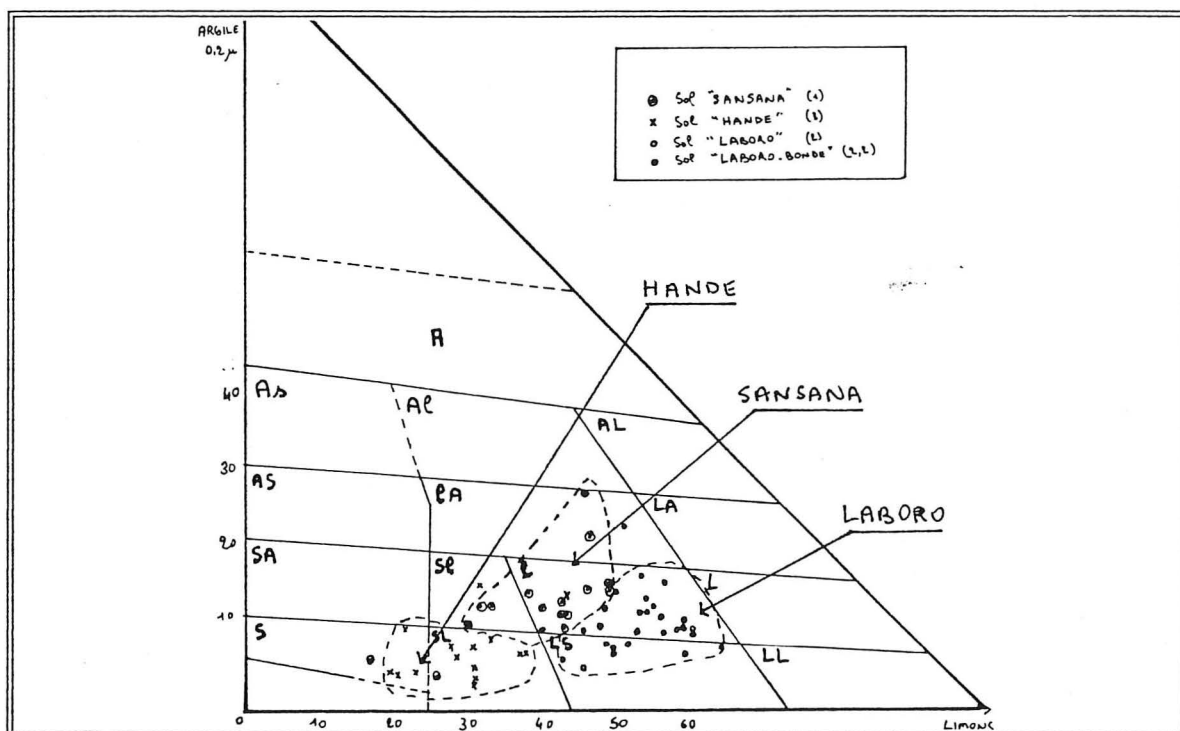


Figure 8 : Représentation des valeurs granulométriques des prélèvements dans le diagramme de texture (modèle Laboratoire des Sols Versailles 1963).

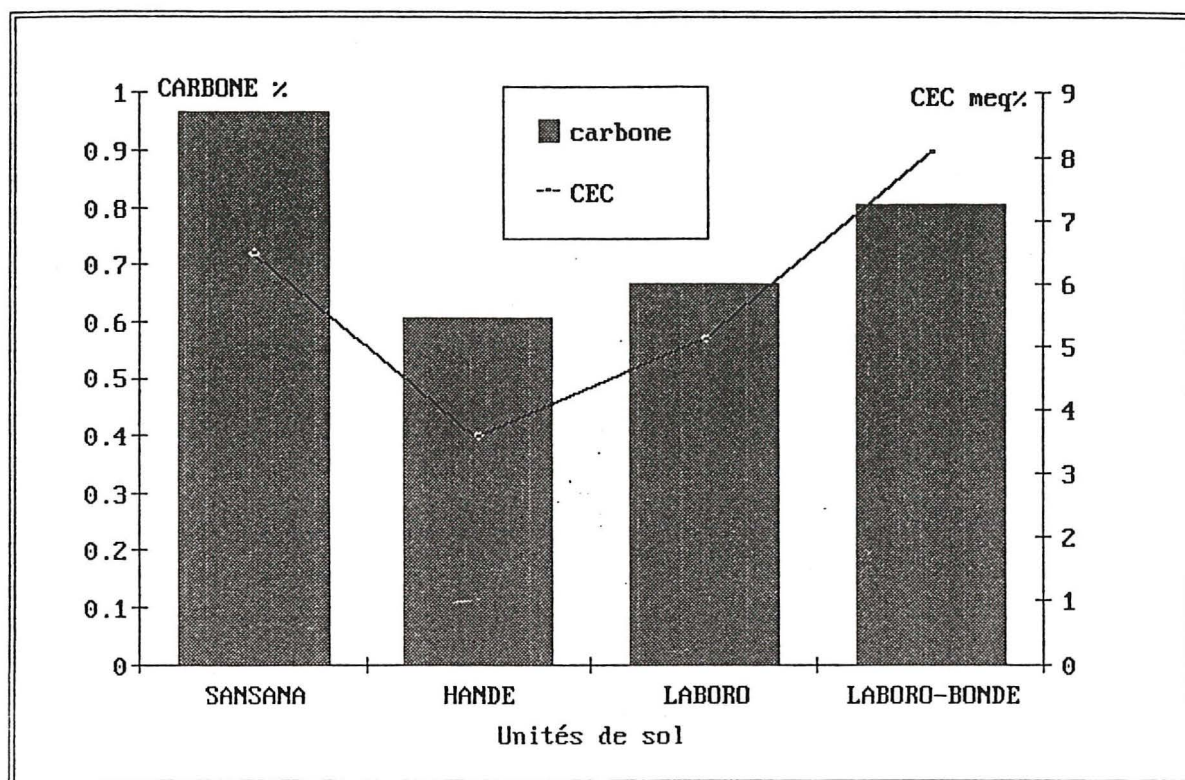


Figure 9 : Taux de carbone (en %) et capacité d'échange cationique (en meq/100 g. de sol) dans les différentes unités de sol (moyennes).

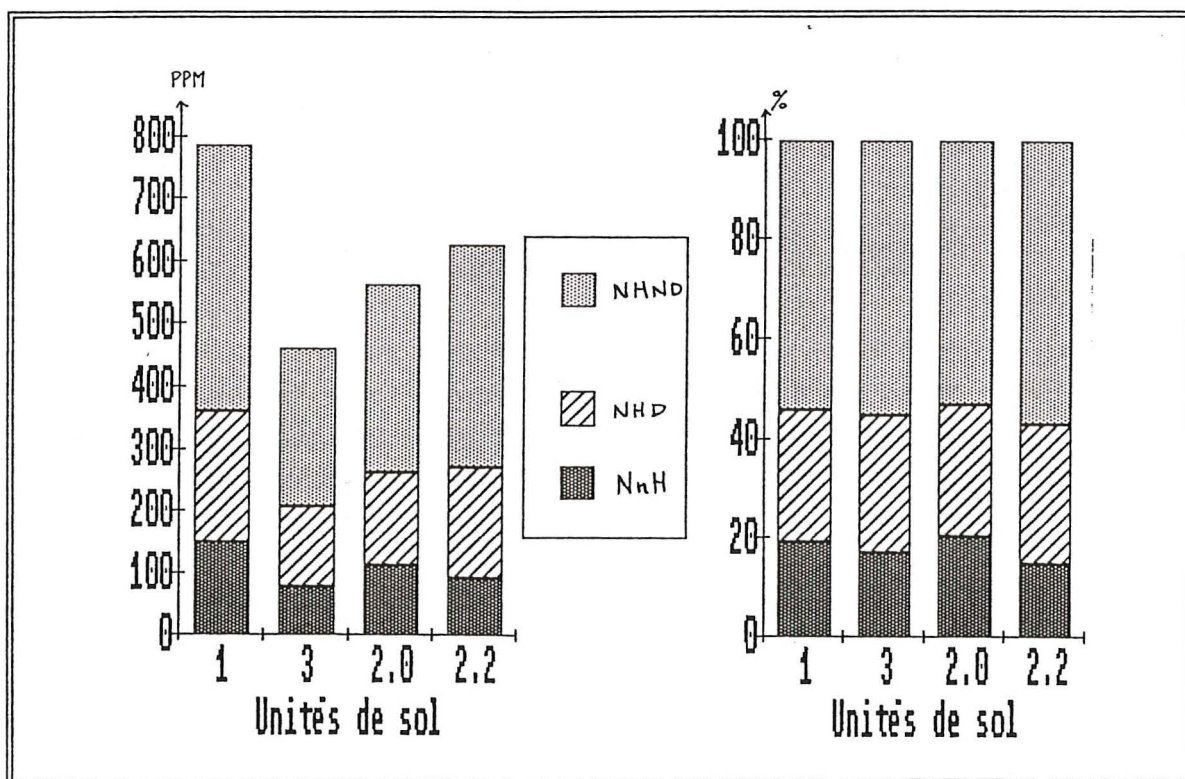


Figure 10 : Fractionnement de l'azote organique dans les différentes unités de sol.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements de sol (terre fine à 2mm) des sites d'essai et présentés par unité de sol.

	Unités de sol					
	ENSEMBLE	SANSANA	HANDE	LABORO	LABOROB	
Nombre de sites	59	16	15	16	12	
Historique (ans)	8	7	11	8	4	**
Argile	12	15	9	12	13	**
Limons	43	39	30	54	51	**
Sables	45	46	61	35	36	**
Limons 1	16	16	10	22	18	**
Limons 2	27	23	20	31	33	**
Sables 1	25	23	27	25	27	
Sables 2	20	23	35	10	10	**
<u>Matière Organique</u>						
Carbone %	0,77	0,97	0,61	0,67	0,81	**
Azote total 0/00	0,70	0,89	0,55	0,61	0,74	**
C/N	11	11	11	11	11	
<u>Complexe absorb. (cobalt/hexamine)</u>						
Ca éch. meq %	3,94	4,56	2,50	3,52	5,46	**
Mg éch. meq %	1,34	1,43	0,69	1,28	2,10	**
K éch. meq %	0,22	0,27	0,19	0,18	0,22	
Somme meq %	5,51	6,28	3,39	5,00	7,80	**
CEC meq %	5,69	6,49	3,56	5,10	8,06	**
pH cobalt	5,81	5,95	5,82	6,00	5,90	
Saturation en %	97	97	95	98	97	
<u>Phosphore</u>						
P Olsen-Dabin en ppm	14	14	17	14	12	
<u>pH</u>						
pH eau	6,43	6,58	6,44	6,28	6,41	
pH KCL	5,49	5,60	5,61	5,31	5,45	
NHD en ppm	167	211	129	151	178	**
NHND en ppm	334	425	255	299	358	**
N Total en ppm	612	787	463	564	630	**
NHND/N Total	0,55	0,54	0,55	0,53	0,57	
NHND/NHD	2,00	2,01	1,98	1,98	2,01	

Analyse statistique : Analyse de variance à un facteur ; n = 59
 (**) différence significative à 1% entre les unités de sol

Un certain nombre d'analyses complémentaires ont été effectuées, comme par exemple le fractionnement chimique de l'azote organique (tableau 5 et figure 10). Il est important de retenir une répartition semblable des différentes fractions, quelque soit l'unité de sol concernée : l'évolution de la matière organique est la même dans ces unités. La teneur en azote organique total différencie les sols "sansana" (Unité 1) (à teneur en carbone élevée) et les sols "handé" (Unité 3) (sols sableux).

Afin de résumer toutes ces informations concernant les propriétés physico-chimiques de ces unités de sol, nous avons procédé à une analyse en composantes principales sur les valeurs des 59 sites d'expérimentation afin de conclure sur l'opportunité d'utiliser la dénomination vernaculaire (figures 11 et 11 bis).

Dans la figure 11, les variables de l'analyse physique (limon, sable, argile) ainsi que le taux de carbone sont bien représentés et très proche du cercle des corrélations. Les variables "limon" et "sable" sont en opposition ; sur l'axe 1, nous retrouvons surtout les variables "argile" et "capacité d'échange" qui sont très liées. Nous avons ajouté dans l'analyse trois variables supplémentaires (non actives) relatives aux cultures en pots : les résultats ne sont pas corrélés avec les variables de l'analyse.

Dans la figure 11 bis, nous avons représenté les sites d'expérimentation par rapport aux deux axes principaux et en les affectant d'un code en fonction de leur catégorie d'unité de sol ; le regroupement par unité de sol donne une assez bonne répartition dans les quatre noms vernaculaires.

Cette présentation des résultats d'enquêtes et d'analyses de laboratoire valide les appellations vernaculaires des unités de sol. Pour l'agriculteur, elles correspondent surtout à une caractérisation de l'horizon superficiel (cultivé) et de ses propriétés face au travail du sol : il est donc normal que nous retrouvons une concordance avec les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons de sol prélevé dans ce même horizon.

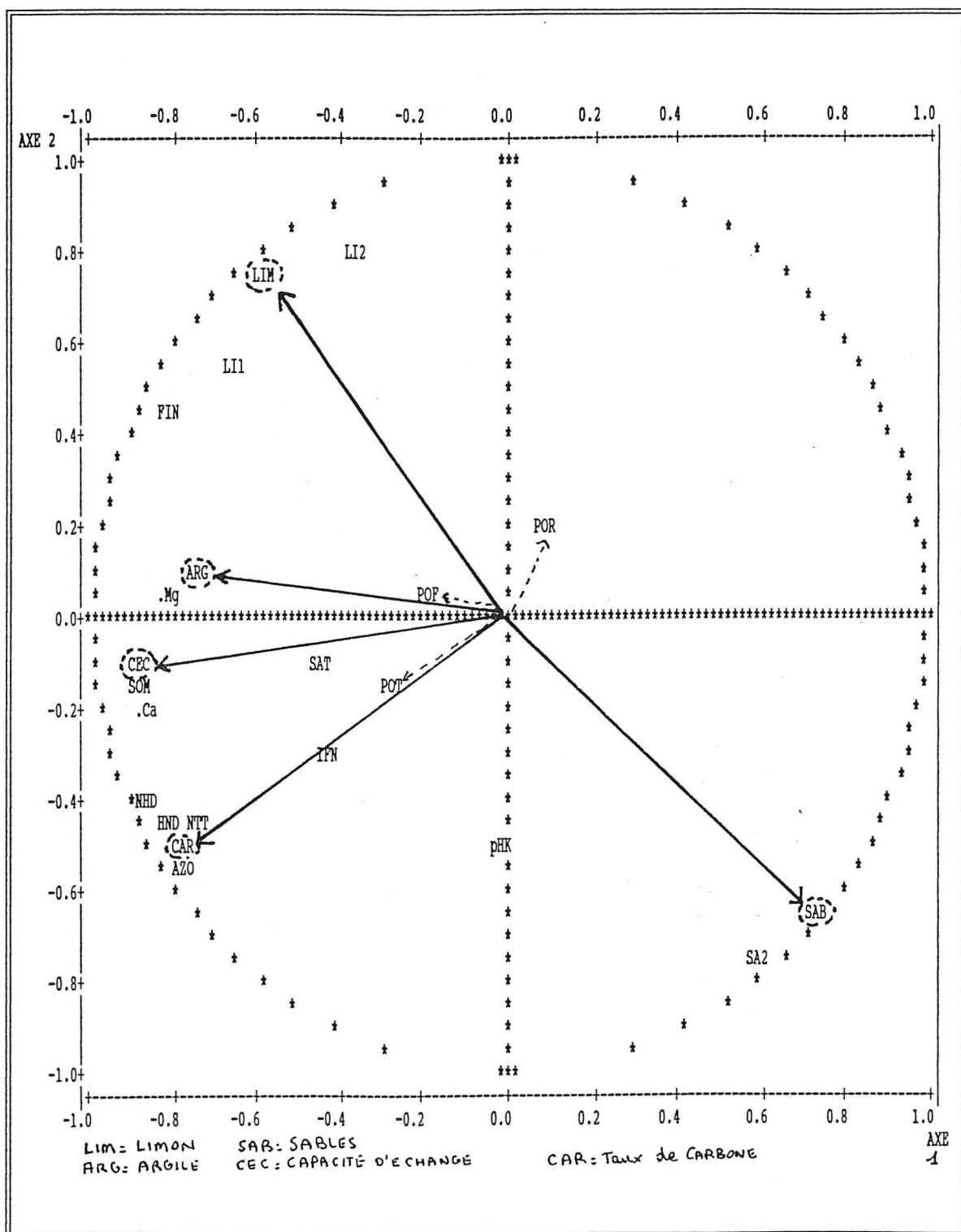


Figure 11 : Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales des principaux résultats analytiques (Cercle des corrélations).

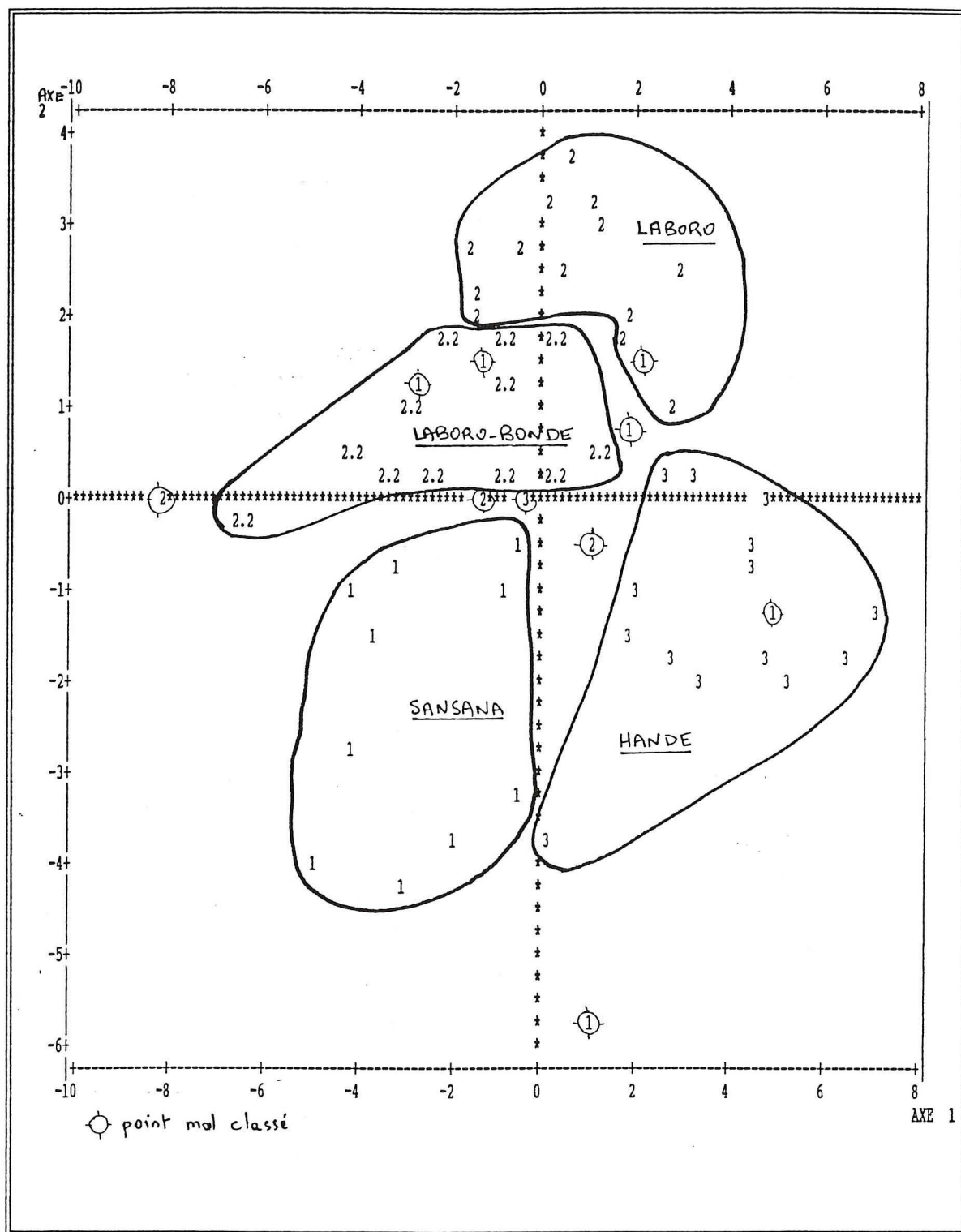


Figure 11 bis : Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales des principaux résultats analytiques (Représentation des sites d'expérimentation).

3.1.4.3.3 - Les profils culturaux

Après les expérimentations, nous avons réalisé des profils culturaux dans tous les sites afin de caractériser les différents horizons rencontrés et la colonisation racinaire. Ces profils nous ont surtout permis d'évaluer la réserve en eau utile du sol d'après la texture, la teneur en éléments grossiers et l'induration des horizons (figure 12). La présence ou non d'un horizon induré différencie ces profils.

Nous utiliserons surtout ces caractérisations de profils culturaux dans l'identification des contraintes (partie 5.1). Comme aucune mesure de laboratoire n'a été effectuée en ce qui concerne la réserve en eau utile, nous l'avons estimée en additionnant la valeur de chaque horizon, valeur obtenue à partir des critères suivants :

- en absence d'éléments grossiers :

pour un taux d'argile et limons estimé par la méthode du "boudin" (limites d'Atterberg) de :

- 5 à 7 %	: RU = 50 mm/mètre
- 10 à 15 %	: RU = 65 mm/mètre
- 15 à 25 %	: RU = 80 mm/mètre
- 25 à 35 %	: RU = 100 mm/mètre
- supérieur à 40 %	: RU = 80 mm/mètre

- en présence d'éléments grossiers tels que les gravillons, la réserve utile est diminuée du pourcentage de volume de terre occupé par ces éléments (estimation).

3.1.4.4 - Télédétection

Le traitement numérique (sur NUMELEC PERICOLOR) de l'image SPOT du 8 juillet 1986 a permis de subdiviser en trois classes les surfaces préparées pour la campagne agricole 1986 (LAINE et al. 1989). Ces trois classes ont été reconnues sur le terrain d'après la couleur et la rugosité de l'état de surface dans le parcellaire cultivé :

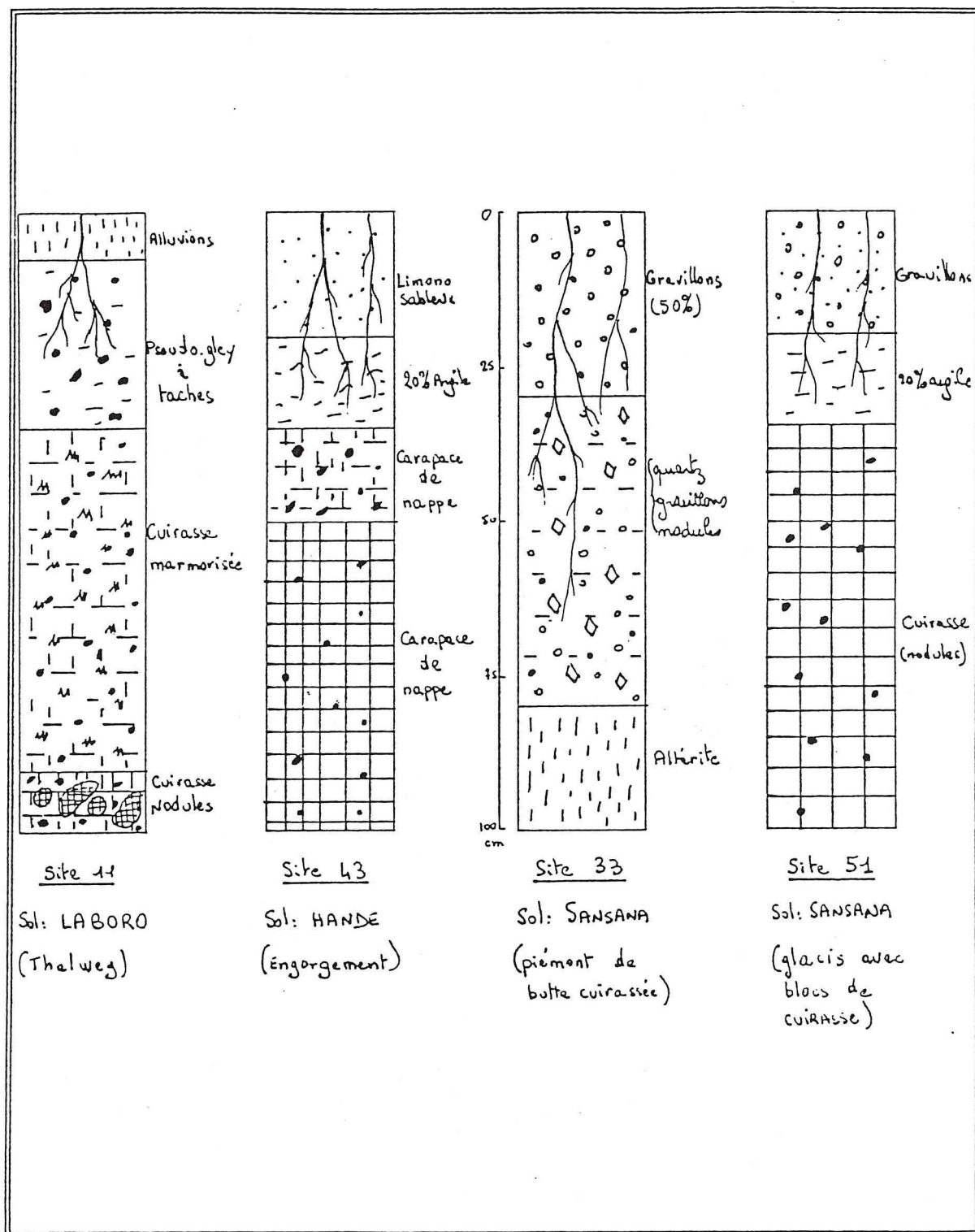


Figure 12 : Représentation schématique de certains profils culturaux observés dans les sites d'expérimentation.

- des sols à surface très claire (matériau de surface "blanchi", notamment en bordure du réseau hydrographique),
- des sols à surface claire (principalement au niveau des glacis d'épandage),
- des sols à surface de couleur rouge foncé (sols gravillonnaires).

Ces résultats qualitatifs (couleur), sans référence pour l'instant à une charte (par exemple le code MUNSELL), sont empiriques et ne peuvent pas pour l'instant être corrélés avec précision avec les observations extraites de l'enquête auprès des paysans.

Toutefois, la catégorie des sols "à surface rougeâtre", couleur due à la présence de gravillons latéritiques en surface, est géographiquement disposée en haut de toposéquence, proches des buttes en voie de démantèlement qui permet l'épandage de gravillons. Elle couvre 48% des superficies cultivées dans le terroir de TIORO (figure 13 et 14). Elle peut donc être rapprochée des sols "sansana" (Unité 1) caractérisés principalement par un état "gravillonnaire en surface" et couvrant 49 % des surfaces cultivées enquêtées à TIORO (Lainé et al.).

Pour les autres classes et unités, le recouplement est plus difficile et incertain.

Le satellite (SPOT dans notre cas) enregistre sur le premier millimètre du sol sa brillance, sa rugosité et sa couleur. Plutôt que de différencier les unités de sols, la télédétection pourrait nous servir certainement dans un proche avenir à apprécier les phénomènes de dégradation des sols ; par exemple dans certaines unités de sols où la morphodynamique de surface et le lessivage sont intenses, la surface est lisse et blanchie.

-----10 KM-----

EXEMPLE DE PRODUIT : STATISTIQUES
CONCERNANT LE TERROIR DE TIORO:

SUPERFICIE TOTALE: 2790 HECTARES

SOLS CULTIVES: 640 HECTARES



11%



9,5%



2,5%

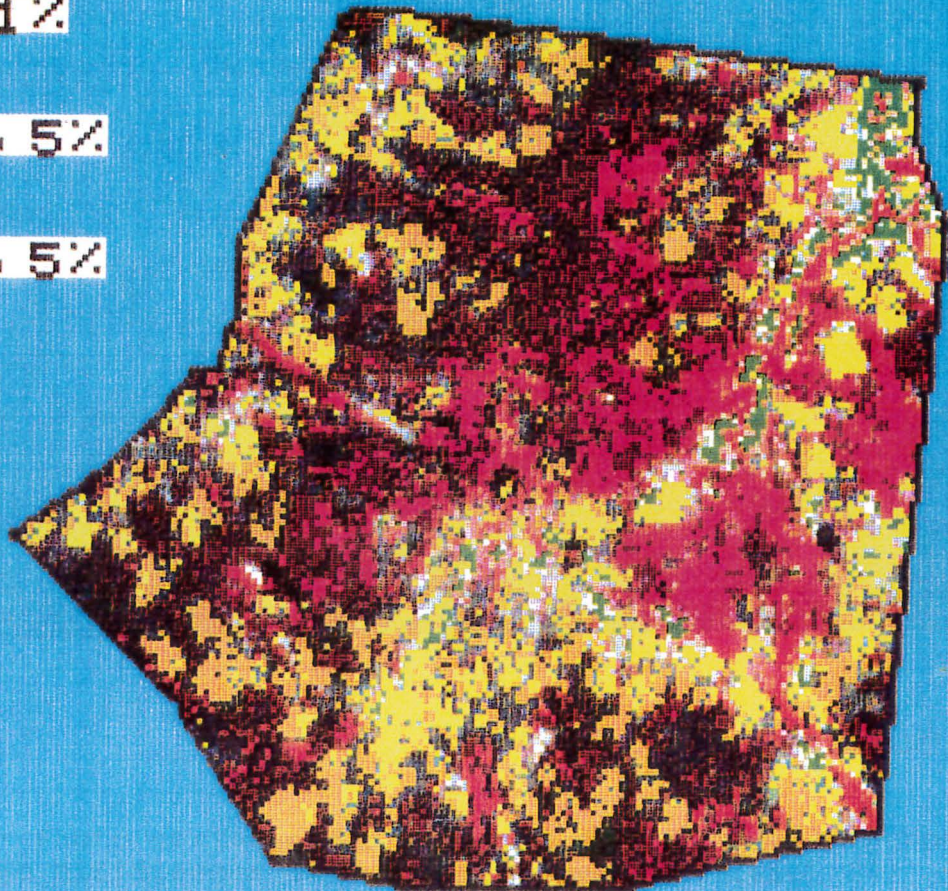
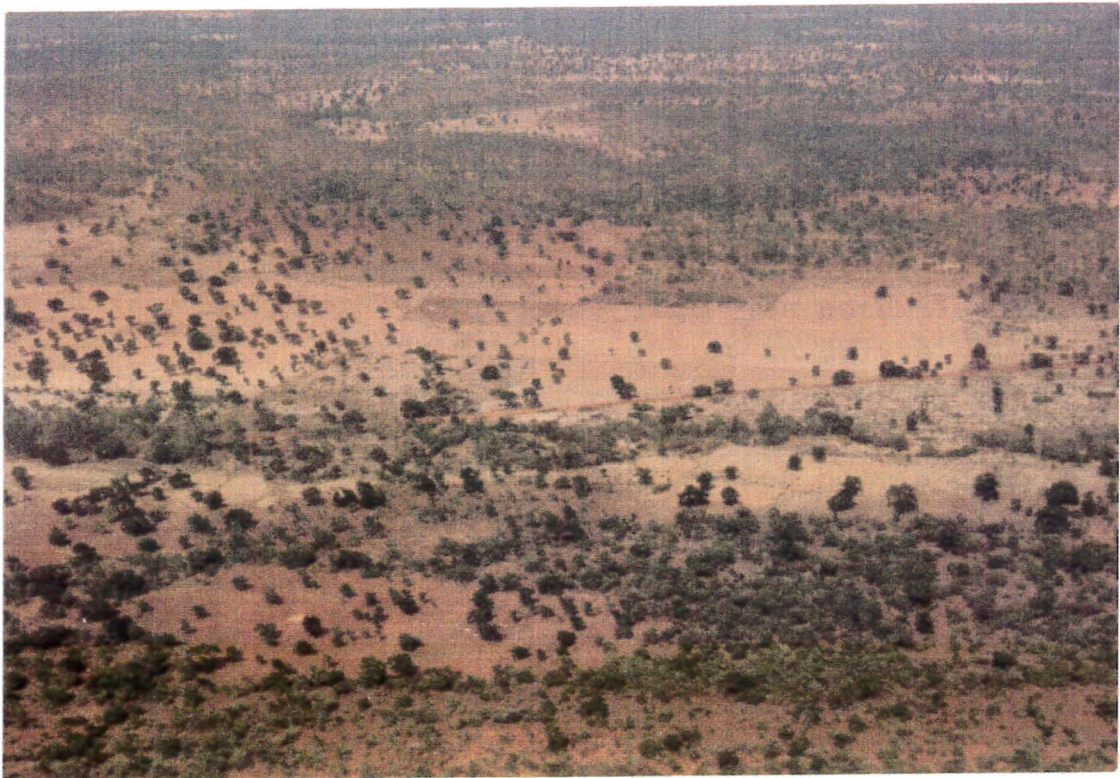


Figure 13 : Carte des superficies cultivées de TIORO d'après interprétation numérique d'une scène SPOT du 8/7/86, avec différenciation des couleurs de la couche superficielle du sol (CIRAD/INERA 1988).



(Cliché MORANT)

Figure 14 : Photo aérienne des paysages de TIORO et de DOHOUN montrant les différences de couleurs superficielles.

3.1.4.5 - Conclusion sur les sols

Pour caractériser les sols de la région dans laquelle nous avons travaillé, nous avons utilisé :

- la carte ORSTOM à l'échelle de 1/500.000,
- le recensement par enquête des unités de sol telles que les agriculteurs les nomment et les caractérisent.
- les analyses physico-chimiques,
- la description des profils culturaux
- l'interprétation des couleurs superficielles de sol par les images satellitaires,

Les différentes unités ont été décrites, caractérisées, et analysées au laboratoire pour l'horizon cultivé. Toutes ces informations nous permettent d'approcher les potentialités de cette région au niveau du matériau sol et de suivre l'évolution des paramètres dans les différents systèmes de culture pratiqués. Nous allons maintenant aborder l'aspect humain de cette région afin de connaître les hommes qui travaillent ces sols et leurs techniques de production agricole.

3.2 - Le milieu humain

3.2.1 - Ethnie et démographie

Les populations de la région étudiée font partie de l'ethnie "BWABA" ou "BOBO-OULE" qui occupe dans la zone Ouest du BURKINA environ 10.000 km² ; leur implantation se prolonge au Mali dans la région de SAN. La langue parlée est le BWAMU (CAPRON 1973, LE MOAL 1976).

Il est important de noter que des études démographiques conduites par l'ORSTOM dans la région ont montré une certaine "dénatalité" dans ce groupe ethnique, en raison de problèmes sanitaires. Lors de nos reconnaissances dans la zone nous avons rencontré certains villages abandonnés, d'autres en voie d'extinction.

Néanmoins, la population du département de HOUNDE est passée de 22.000 habitants en 1975 à 42.000 en 1985 (Recensement général de la population, Institut National de la Statistique, Ouagadougou).

3.2.2 - Les phénomènes migratoires

Le doublement de population en 10 ans dans les départements de HOUNDE et de BEREBA est essentiellement dû à une arrivée importante d'allochtones, originaires du "Plateau Mosi" qui sont venus s'installer dans des zones plus favorables à l'agriculture. Bien qu'anciens, ces phénomènes migratoires se sont amplifiés ces dernières années en raison des modifications climatiques et de la saturation de l'espace dans leur zone d'origine. L'accueil favorable des populations autochtones, la disponibilité en terres cultivables, les moyens de transport facilement accessibles, sont des facteurs qui ont permis la transformation de cette région.

3.2.3 - Les villages étudiés

Dans les villages de DOHOUN et TIORO, nous avons rencontré ces phénomènes observés au niveau régional (voir le tableau 6). En douze années, la population de ces deux villages a doublé. Cet augmentation spectaculaire de la population résidante s'explique par l'installation de nombreux allochtones : ils représentent 49 % du total à DOHOUN, et 96 % à TIORO.

Dans le village de KARBA, enquêté en 1990, la situation est différente en raison de traditions et coutumes qui n'ont pas permis l'installation de populations allochtones. Dans ce village, les quelques familles allochtones (4% de l'ensemble) sont d'origine BWABA, viennent de villages de la région et sont installées depuis plusieurs dizaines d'années dans le village ; certains y sont mêmes nés.

Tableau 6 : Population de DOHOUN, TIORO, et KARBA

	AUTOCHTONES	ALLOCHTONES	TOTAL	(R.1975)
DOHOUN	1031	981	2012	(1126)
TIORO	37	851	888	(314)
KARBA	1614	59	1673	(1606)

Source : en 1975 recensement général de la population, 1987 enquête INERA, 1990 enquête INERA sur le village de KARBA.

Les allochtones installés dans la région, sont principalement composés de MOSI (agriculteurs originaires du Plateau Mosi) et de PEUHL (éleveurs nomades ou sédentarisés).

Nous disposons donc de trois cas de figure différents quant à la répartition de la population et à l'accessibilité de certains terroirs :

- * KARBA : pas de migrants
- * DOHOUN : population répartie à égale partie entre allochtones et autochtones
- * TIORO : population presque entièrement composée de migrants.

Dans l'historique de ces arrivées, pour les villages de DOHOUN et TIORO, nous observons une augmentation très nette à partir de 1981 (figure 15). Dès 1987, un net ralentissement de la tendance dans le village de TIORO se manifeste, et nous avons nous-même assisté au départ de certaines familles à TIORO dans les années 1988-1990 : serait-ce une conséquence d'un manque de "bonnes terres" et d'une saturation de l'espace cultivable ?

L'afflux de population, principalement d'agriculteurs et d'éleveurs dans la région de HOUNDE a permis un développement important de l'agriculture dans la région : environ 20.000 tonnes de coton sont égrenées à l'usine de HOUNDE et les excédents vivriers sont commercialisés. Cette région bénéficie donc de potentialités non négligeables.

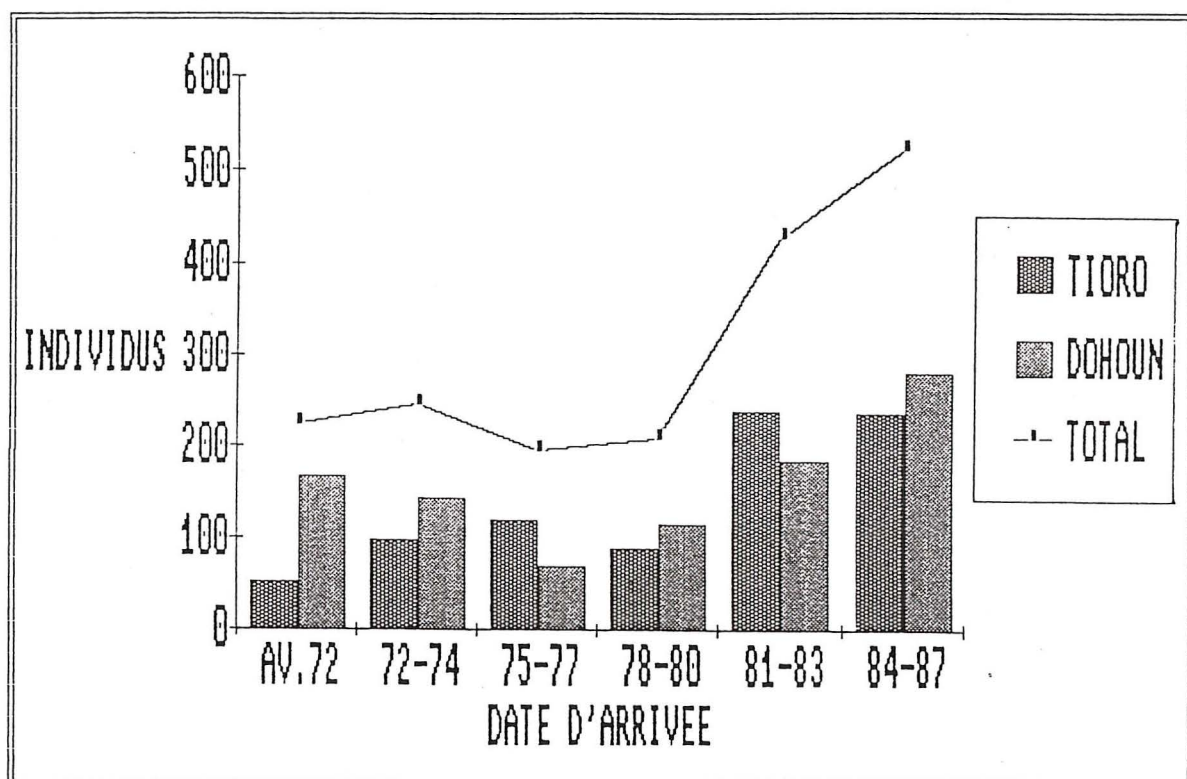


Figure 15 : Dates d'arrivée et dénombrement des personnes allochtones dans les villages de TIORO et DOHOUN.

Toutefois comme nous le verrons par la suite, cet accroissement de population principalement rurale a aussi entraîné une perturbation des systèmes traditionnels de gestion de l'espace, et une mise en valeur importante des superficies cultivables.

3.3 - Le milieu agricole

3.3.1 - L'emprise agricole

3.3.1.1 - Au niveau régional

La région a fait l'objet depuis 1986 d'un certain nombre de travaux utilisant la télédétection par les chercheurs de l'INERA (MORANT et al. 1989). Les principaux thèmes auxquels nous avons participé sont : l'emprise agricole, la caractérisation des unités de sol et des zones non cultivées.

L'emprise agricole, c'est à dire la mise en valeur du milieu physique par l'agriculture, a été cartographiée à partir de données satellitaires SPOT (image SPOT K50 J327 du 11 mai 1987) (figure 16). Sur l'ensemble de la région, le taux d'occupation de l'espace par l'agriculture est de 15,6 % des surfaces.

Ce travail, conduit à l'échelle régional donne aussi des informations sur les ressources en terres cultivables de la zone : 50 % de la superficie restante est estimée "cultivable" ; c'est à dire qu'elle se présente sous la forme de savanes (herbacée, arbustive ou arborée), caractéristiques d'une jachère de régénération plus ou moins âgée. Nous devons signaler que ce domaine est recouvert d'une strate herbacée abondante et se trouve être ainsi le domaine privilégié de l'élevage.

Nous avons estimé le domaine "non ou difficilement cultivable" à 35 % des superficies de la région de HOUNDE ; c'est le domaine des cuirasses latéritiques, des collines de roches vertes et des sols à trop faible profondeur pour une agriculture intensive. Dans les systèmes de production intensifs (avec comme culture de rente le cotonnier et utilisation de la traction mécanisée et des intrants) ces espaces ne sont pas utilisables.

Certains vestiges de diguettes et terrasses nous font penser que dans le passé, dans des systèmes vivriers traditionnels, en l'absence de culture mécanisée et certainement sous des pluviométries plus favorables, ces zones actuellement "estimées non cultivables" étaient emblavées en cultures vivrières.

Ces documents cartographiques de l'emprise agricole peuvent être recoupés avec la carte des mouvements de population : là où l'espace cultivable était le plus abondant, nous avons observé un afflux important de population (zone de BOUERE, TIORO, DOHOUN) ; dans les zones déjà saturées ou à faible ressources en sols cultivables, peu de nouveaux arrivants sont venus s'installer (zone de BONI).

3.3.1.2 - Les villages étudiés

Après avoir procédé avec les autorités coutumières des villages concernés, à une reconnaissance des limites des terroirs, nous y avons représenté et planimétré les différents domaines.

Lors de l'enquête, il est apparu que les habitants d'un village ne sont pas "cloisonnés" dans le terroir relevant de l'autorité de ce même village : ils peuvent disposer de terrains de culture dans les terroirs voisins ; inversement, nous avons dû recenser à DOHOUN et TIORO un nombre important de parcelles cultivées par des habitants des villages voisins (nous les avons appelés les non-résidents).

Le taux d'occupation de l'espace par l'agriculture est plus élevé à TIORO (22%) que la moyenne régionale : TIORO a été depuis une dizaine d'années un village très "accueillant" pour les migrants (voir chapitre population), malgré un terroir peu étendu (tableau 7 et figure 16) :

Dans la répartition des principales cultures la prédominance du sorgho à TIORO (culture vivrière) est nette, alors qu'à KARBA, c'est le cas du cotonnier. Nous expliquerons ces observations par la suite dans l'analyse détaillée des exploitations.

L'étude diachronique de l'occupation du sol par l'agriculture entre 1981 et 1988 (figure 17) montre une importante évolution en 7 ans : abandon de parcelles, nouveaux défrichements engendrés par l'arrivée de migrants et par l'extension des surfaces. Le facteur démographique (accueil de migrants) explique en partie les modifications de parcellaire visualisées sur ces documents cartographiques.

3.3.2 - Systèmes de culture et exploitations agricoles

Les superficies moyennes des exploitations sont de 3 à 4 hectares dans ces villages (tableau 8). Entre les villages nous remarquons des différences importantes dans la répartition des cultures : la culture du sorgho occupe plus de la moitié des surfaces à TIORO, alors que dans les autres villages, les cultures "intensifiables" que sont le cotonnier et le maïs (bonne réponse aux thèmes techniques appliqués) sont prédominantes. Nous expliquons cette constatation par le fait que les stratégies de production sont différentes suivant les groupes ethniques et que la répartition de ceux-ci est inégale entre les villages.

La région de HOUNDE est la première zone où la vulgarisation agricole s'est implantée fortement il y a une vingtaine d'années : ses objectifs étaient l'introduction de la culture du cotonnier et l'équipement en matériel de culture attelée bovine des exploitations (tableau 9). Nous rencontrons de nombreuses exploitations utilisant la charrue, le corps sarcleur, le corps butteur et quelquefois le semoir pour les opérations culturales. Cet équipement a permis un accroissement des surfaces cultivées, prioritairement pour le cotonnier, mais aussi pour les cultures vivrières : à DOHOUN et TIORO, la superficie moyenne d'une exploitation non équipée est 2,3 hectares, celle d'une exploitation équipée en matériel de culture attelée de 5,5 hectares. Le développement du cotonnier et les progrès de la mécanisation ont entraîné un éclatement des exploitations jadis constituées sur la base des grandes familles ; actuellement l'exploitation nucléaire est réduite à un ménage avec le chef d'exploitation, sa ou ses femmes et ses enfants.

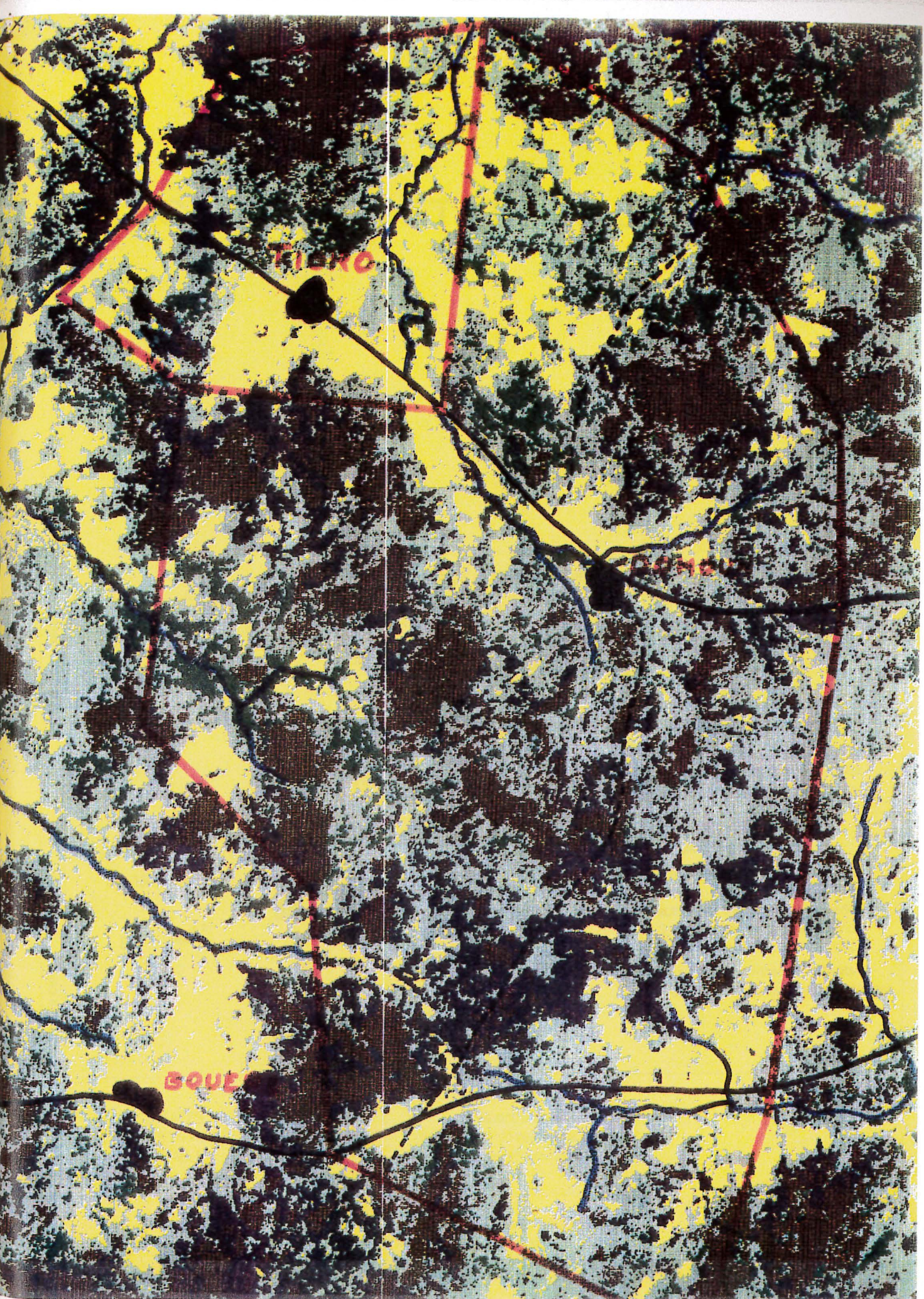
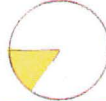

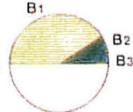



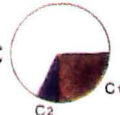




Figure 16 : Extrait de la carte des états de surface de la zone de HOUNDE d'après interprétation d'une image SPOT, avec légende. INERA/CIRAD (1989). Terroirs de DOHOUN et TIORO. (échelle 1/50.000)

CARTE DES ÉTATS DE SURFACE

		Superficie en hectares	Pourcentage	ETATS DE SURFACE	CARACTERES DES SOLS	
Domaine cultivé	SURFACES CULTIVÉES ET JACHÈRES TRÈS RÉCENTES S = 56 058 ha - 15,6 % A 	 A	56 058	15,6	Sols nus ou très faiblement recouverts	Milieu fragile, sensible aux processus de dégradation superficielle Association : ● Sols ferrugineux tropicaux lessivés appauvris sur altérations de schistes. Souvent sableux en surface, limono- sableux et gravillonnaires en profondeur. Epaisseur moyenne à faible. (DOMINANTS) ● Sols bruns eutrophes tropicaux modaux, hydromorphes ou vertiques autour des collines de roches vertes. Sols structurés, en général profonds souvent caillouteux, à bonne fertilité. ● Sols hydromorphes et vertisols hy- dromorphes dans les alluvions argileuses.
	SURFACES ESTIMÉES CULTIVABLES S = 180 147 ha - 50 % B 	 B1	142 458	39,5	Savane arborée ou arbustive claire à très claire	
 B2		32 390	9,0	Savane arborée ou arbustive dense à mi-dense		
 B3		5 299	1,5	Boisements		
Domaine non cultivé	SURFACES NON OU TRÈS DIFFICILEMENT CULTIVABLES. S = 124 237 ha - 34,5 % C 	 C1	93 037	25,8	Savane arborée ou arbustive sur dômes, dalles cuirassées ou affleurements rocheux	
	 C2	31 200	8,7	Dalles cuirassées nues, affleurements rocheux avec végétation nulle ou très claire		

Superficie totale : 360 442 ha

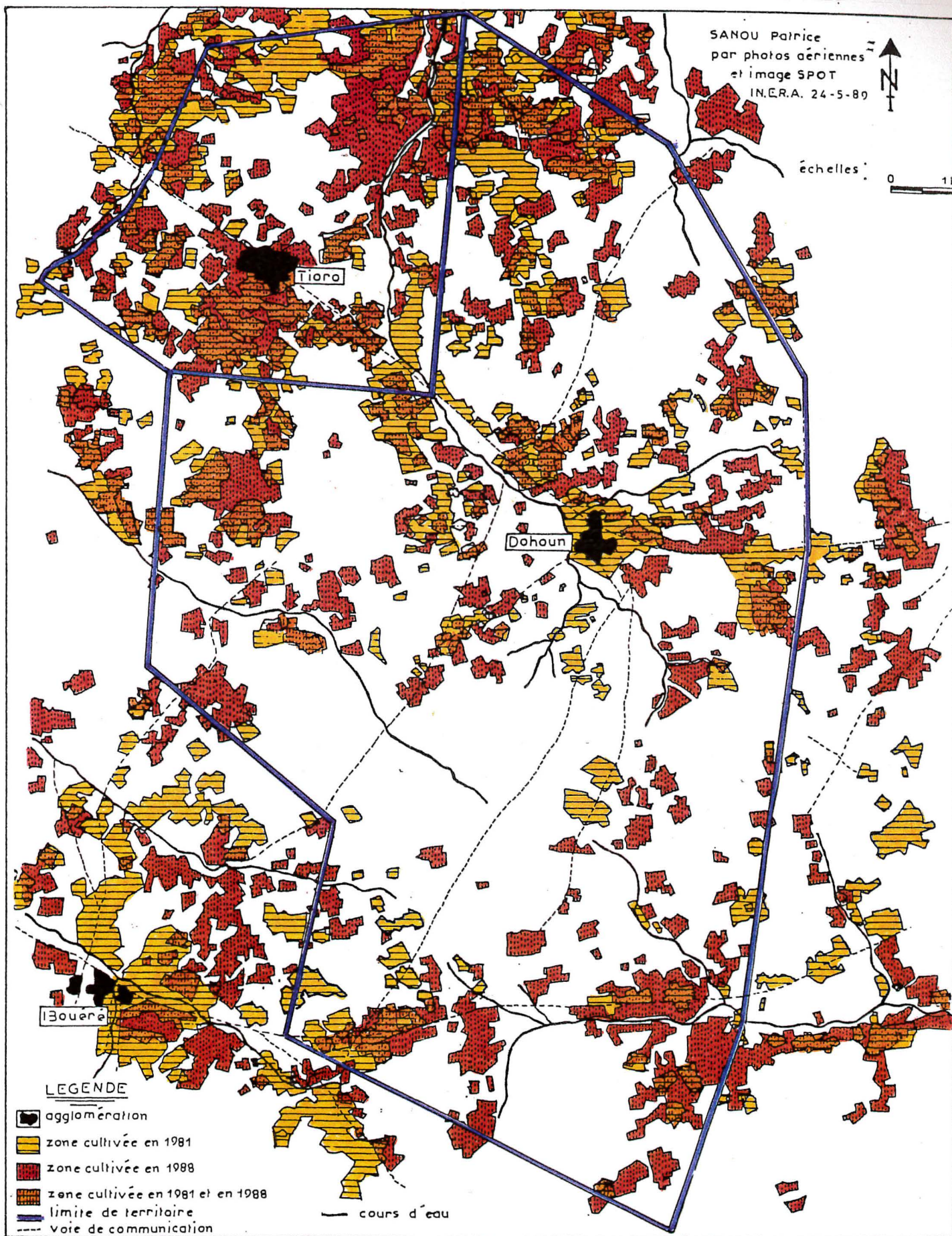


Figure 17 : Evolution du parcellaire agricole entre 1981 et 1988 d'après interprétation de prises de vue aériennes en 1981 et d'une image SPOT du 12 octobre 1988. (échelle 1/50.000)

Tableau 7 : Données générales sur l'occupation du sol dans les trois villages étudiés.

	TIORO	DOHOUN	KARBA
SUPERFICIE TOTALE	2800	10850	6000
% CULTIVE	22,3	10,5	12,9
SUPERFICIE CULTIVEE	626	1142	774
% EN COTONNIER	30	38	52
% EN MAIS	10	16	27
% EN SORGHO	48	38	18

Source : enquête INERA 1987.

Tableau 8 : Données générales sur les exploitations des trois villages étudiés. (surfaces et cultures en hectares)

	SURFACE TOTALE	COTON	MAIS	SORGHO	% VIV	COTON /hab.	Nombre Expl.
TIORO	3,44	0,82	0,22	1,94	83	0,10	94
DOHOUN	3,45	1,36	0,73	1,02	62	0,21	261
KARBA	4,35	2,25	1,19	0,80	48	0,24	178

Source : enquête INERA 1987.

Tableau 9 : Données générales sur la culture attelée dans les trois villages étudiés.

	Avec 2 boeufs ou plus	% d'exploitations Equipées en Matériel CA	Pratiquent la c. att.	Animaux de trait
TIORO	34 %	40 %	37 %	82
DOHOUN	36 %	44 %	42 %	245
KARBA	60 %	63 %	80 %	317

Source : Enquete INERA 1987.

La proportion d'exploitations équipées à KARBA est en relation étroite avec les données de superficie en cotonnier. Certaines exploitations possèdent du matériel de culture attelée bovine, acquis souvent avec les emprunts de la Caisse Nationale de Crédit Agricole, mais ne possèdent pas ou plus les animaux nécessaires pour les tracter. En outre même sans animaux et sans matériel, certains déclarent pratiquer la culture attelée : c'est par le prêt de matériel ou par les travaux à façon qu'ils peuvent résoudre le problème de préparation des terrains.

Si nous considérons les surfaces cultivées par habitant dans les villages de DOHOUN et TIORO (figure 18), il existe un nombre important d'exploitations qui ne pratiquent pas la culture attelée mais qui ont des superficies par habitant importantes (plus de 0,5 hectare/habitant). Par contre, certaines exploitations équipées ou pratiquant la culture attelée bovine présentent des valeurs très faibles (0,15 à 0,45 hectare/habitant) : l'utilisation du matériel est loin d'être optimisée. L'équipement des exploitations en matériel de traction bovine n'a pas toujours permis un accroissement des superficies (par habitant) ; nous avons envisagé un suivi plus rigoureux des itinéraires techniques conduits dans le cadre de ces exploitations.

Ces résultats globaux par village ont montré déjà des différences importantes entre villages ; toutefois ils ne représentent qu'une image moyenne de l'ensemble. Nous avons essayé sur les exploitations de DOHOUN et TIORO de faire une classification des exploitations en prenant en compte :

- le statut de la famille (autochtone ou allochtone)
- la superficie cultivée pour les autochtones
- la date d'arrivée pour les allochtones.

Le résultat de cette classification nous donne cinq classes chez les autochtones et six chez les allochtones (annexe 2 et 3). Nous pouvons confirmer cette classification par la répartition des emblavements en 1987 (figures 19 et 20).

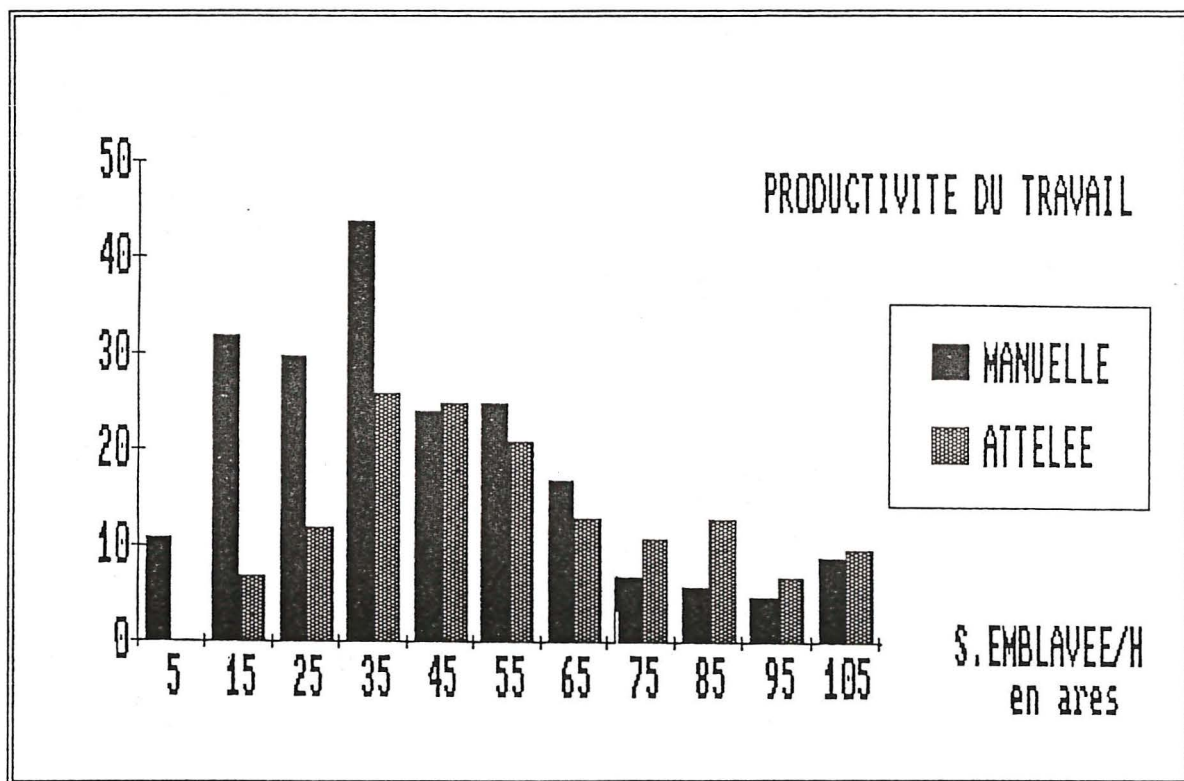


Figure 18 : Dénombrement des exploitations en fonction des surfaces emblavées par habitant (en ares).

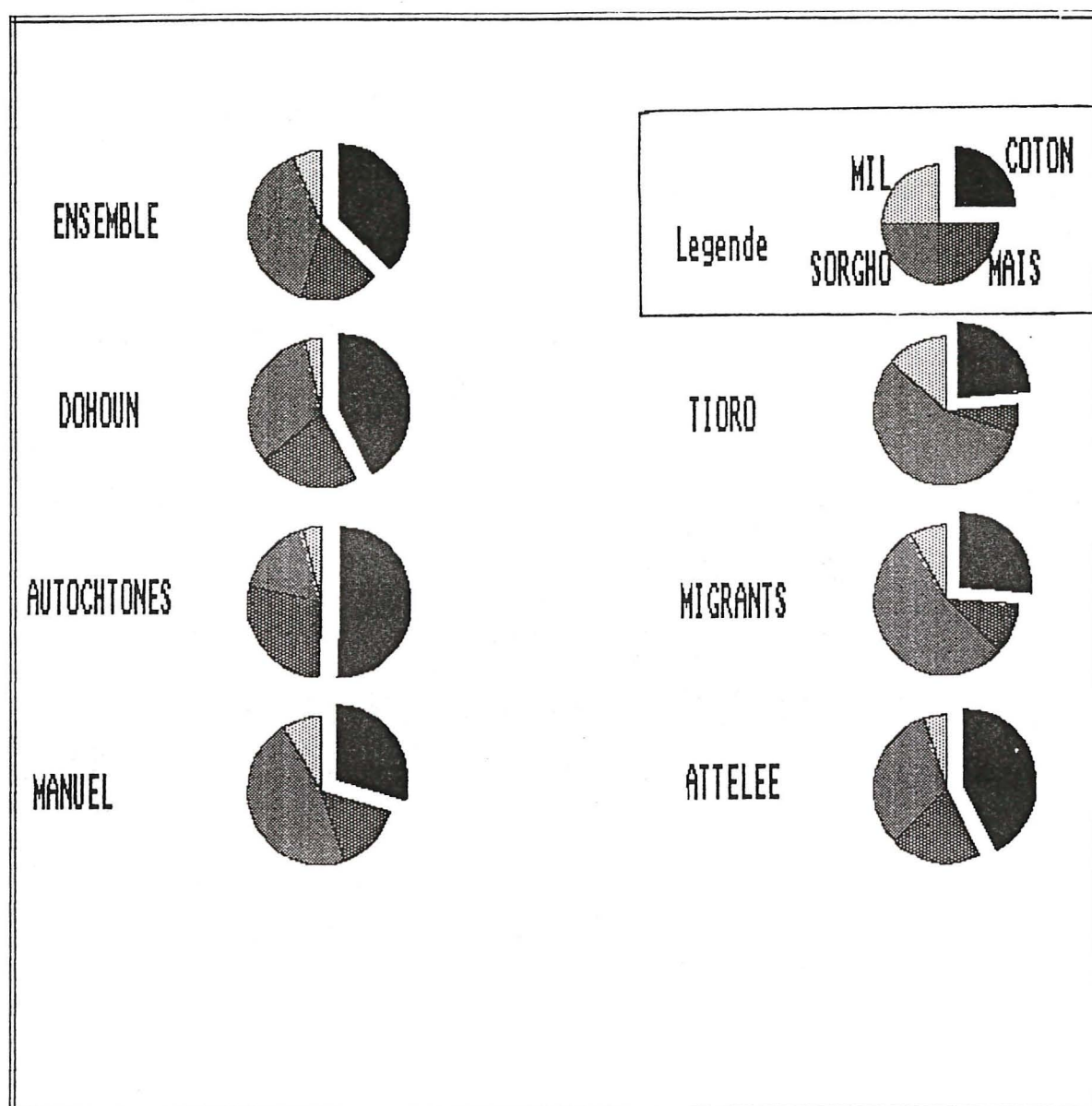


Figure 19 : Diagrammes représentant la répartition des principales cultures dans les emblavements 1987 pour les différents ensembles.

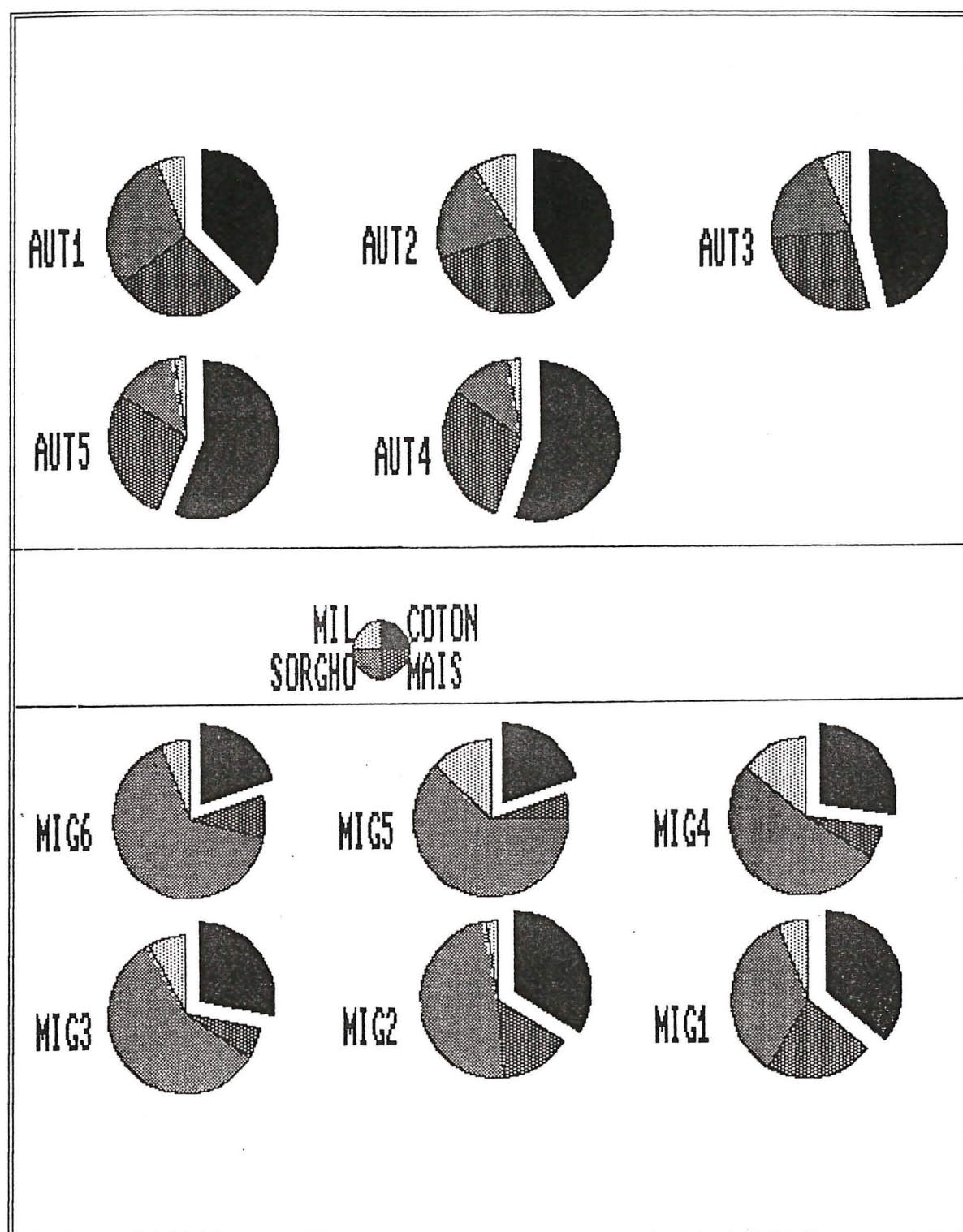


Figure 20 : Diagrammes représentant la répartition des principales cultures dans les emblavements 1987 pour les différentes classes d'exploitations.

Le coton est le pivot de la production agricole de la région, en raison de son bon encadrement (vulgarisation, intrants) et de sa commercialisation à prix fixe et dans les villages. Dans la répartition par groupe que nous avons fait des exploitations, nous pouvons retenir que :

- chez les autochtones, la proportion de surface mise en cotonnier augmente avec la taille de l'exploitation ; les exploitations ayant les plus grandes superficies mettent en culture plus de 50 % de la surface en cotonnier. Le maïs est la deuxième culture en importance : c'est la céréale vivrière, le sorgho étant principalement du sorgho rouge destiné à la fabrication de bière locale ("dolo").

- chez les allochtones, la proportion de surface mise en cotonnier augmente avec l'ancienneté du paysan dans le village : dès leur arrivée les migrants ont surtout une stratégie "vivrière" (constitution de réserve de vivres) ; ils sont faiblement équipés en matériel et ne disposent pas de surfaces cultivables importantes (0,33 ha/habitant pour les migrants récemment arrivés). Le sorgho est la plante vivrière principale et occupe 66 % des superficies cultivées de l'exploitation dans le cas des migrants récemment arrivés.

En ce qui concerne la culture du maïs, il faut signaler l'évolution importante de cette culture dans la région. Auparavant, le maïs était cultivé en champ de case, aux abords des habitations, avec une fertilisation organique importante et avec des variétés locales, souvent à couleur de grain jaune. L'introduction et l'adaptation de variétés de maïs plus productives à grain de couleur blanche dans les années 80 (IRAT 171, POZARICA, SR22) et leur vulgarisation intensive ont permis une introduction du maïs en culture de plein champ, dans la rotation avec le cotonnier et le sorgho. La potentialité de ces variétés a permis, moyennant l'utilisation d'intrants (urée, engrais de fond), un accroissement important des productions et un meilleur attrait pour cette culture. La mise en place d'une commercialisation de cette production a pu aussi encourager l'augmentation des surfaces.

3.3.3 - Le rôle de la culture cotonnière

Le développement de la culture du cotonnier dans cette zone a entraîné un équipement des exploitations en matériel de culture attelée bovine, et une bonne utilisation des intrants (engrais minéraux, produits phyto-sanitaires). Dans le secteur de HOUNDE (découpage administratif), la production de coton est passée de 5000 tonnes en 1971 à 18.000 tonnes en 1987. Les revenus monétaires des ménages ont été augmentés par la vente du coton et ont permis des investissements dans l'amélioration de l'habitat, l'achat de biens d'équipement (mobylette, moto) ; le contrôle des "marchés autogérés" par les groupements villageois et le versement de ristournes ont entraîné la construction de nombreux bâtiments collectifs (écoles, maternités, dispensaires,...).

Comme le signale BELEM (1985), le développement de la culture cotonnière a entraîné un accroissement important de la production en raison de :

- l'augmentation des superficies emblavées en cotonnier
- d'une évolution soutenue des rendements par l'amélioration des variétés et par un meilleur contrôle phyto-sanitaire.

Le total national est passé de 30.000 tonnes en 1971 à 170.000 tonnes en 1987.

Toutefois il n'a pas joué un rôle d'entraînement de la production vivrière, faute de structures de commercialisation adéquate. "Par contre, il a transformé le système de production à travers le développement des forces productives et un nouveau type d'occupation de l'espace" (BELEM 1985).

3.3.4 - Les populations allochtones

Comme nous l'avons montré dans le paragraphe 32, le doublement de la population dans la région est dû à l'arrivée de populations venant des zones nord et centre du pays.

La majorité de ces allochtones sont des agriculteurs, quittant les zones à sols épuisés et à conditions climatiques aléatoires. Leur installation dans la zone de HOUNDE n'a pas posé de problèmes jusqu'à présent, la disponibilité en terres étant suffisante. Toutefois les autorités coutumières responsables de la gestion traditionnelle de l'espace, n'ont pas toujours perçu l'ampleur de certaines pratiques (défrichements abusifs, extensification sur des unités de paysage fragiles). Parfois, ils ne maîtrisent plus les nouvelles occupations qui peuvent rapidement devenir anarchiques. La mise en place du futur "Programme National de Gestion des Terroirs Villageois" devrait permettre d'endiguer ces phénomènes.

Dans les populations allochtones, nous avons recensé environ 10 % de population d'origine PEUHL : ceux-ci sont principalement des éleveurs et sont, soit résidents (et donc visités dans notre enquête), soit transhumants. L'élevage dans cette zone est leur domaine car les agriculteurs ne possèdent que des bovins de trait. Les liaisons entre les systèmes de culture et les systèmes d'élevage peuvent se résumer à des échanges du type :

- contrat de parage sur les résidus de culture
- récupération par les agriculteurs de poudrette de parc
- vente de bovins de trait dressés.

3.3.5 - Conclusion sur le milieu agricole

L'agriculture et la mise en valeur de la région de HOUNDE ont été transformées en l'espace de vingt années par deux facteurs principaux :

- le développement de la culture cotonnière
- l'arrivée et l'installation de populations allochtones.

Comme nous l'explique SAVONNET (1960), les BWABAS avaient mis en place une gestion de l'espace bien organisée, assurant un renouvellement des ressources naturelles et une production agricole vivrière et commerciale pour les populations. Les aménagements anti-érosifs, la fertilisation organique sur certains champs, la pratique de longues jachères de régénération étaient des pratiques courantes.

La transformation progressive des méthodes de gestion du milieu en raison des facteurs cités ci-dessus, a entraîné dans certains villages comme TIORO, une saturation de l'espace cultivable, le raccourcissement de la durée des jachères, la non-restitution de matières organiques (ou en trop faible quantité) : les conséquences perceptibles sont l'abandon de parcelles suite à la modifications des propriétés physico-chimiques des sols cultivés.

Dans d'autres villages (DOHOUN), l'espace disponible est encore suffisant : si certaines mesures sont prises rapidement, il est permis d'envisager une conservation des potentialités. La présence de nombreux animaux d'élevage à DOHOUN confirme la présence d'espaces disponibles pour l'élevage.

C'est dans cette problématique que nous avons voulu étudier l'évolution des propriétés du milieu naturel au niveau des parcelles cultivées dans les différents agro-systèmes pratiqués. Nous avons pour cela mis en place un suivi des propriétés physico-chimiques des sols et du développement des plantes cultivées.

4 - DETERMINATION EXPERIMENTALE DES POTENTIALITES

4.1 - Référence à des expérimentations de longue durée

De nombreux travaux ont été réalisés depuis une trentaine d'années dans la zone inter-tropicale de savane sur l'évolution de la fertilité des sols, utilisant des dispositifs d'expérimentation de longue durée. Dans le cadre du BURKINA FASO, SEDOGO (1981), PICHOT (1981), BERGER (1987), HIEN (1989) ont abordé les problèmes de dégradation des propriétés des sols en culture continue : ils ont travaillé dans des dispositifs en milieu contrôlé (stations de recherche, points d'appui et d'expérimentation multilocale) dans des conditions écologiques voisines de notre étude.

Certains auteurs comme GASSER (1961), SANCHEZ (1976), ont conduit des cultures en pots, sous serre, parallèlement à des expérimentations au champ. Ils ont mis en évidence un certain nombre de relations entre les productions obtenues dans les pots, les caractéristiques physico-chimiques des sols et les rendements observés au champ.

4.1.1 - Les résultats généraux sur la zone climatique

PIERI (1989a) a écrit une synthèse des résultats obtenus dans cette région d'Afrique par de nombreux chercheurs principalement au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Togo, au Cameroun, au Mali et au Burkina Faso. Il en tire des conclusions générales sur les mécanismes physiques et chimiques qui entraînent une baisse généralisée de la fertilité des sols dans les systèmes de culture pratiqués actuellement dans les zones de savanes.

Dans le cadre du système traditionnel de gestion de l'espace à faible niveau d'intensification, l'espace cultivable disponible doit être 3 à 4 fois supérieur à l'espace cultivé. Dans les zones de cultures où les paysans pratiquent une agriculture plus intensive (comme les zones cotonnières) la notion de "seuil" est abordée pour justifier les processus de dégradation :

- des propriétés physiques mises en évidence par l'effondrement de l'organisation structurale du profil cultural (perte en matière organique, battance, mauvaise infiltration des eaux, ruissellement, érosion),

- des propriétés chimiques entraînant une acidification et un appauvrissement en éléments minéraux.

En raison de leur pauvreté en argile et en éléments minéraux, la stabilité structurale des sols ferrugineux est fortement influencée par le rôle des liants organiques. L'auteur en s'inspirant des travaux de EMMERSON (1967) et JONES (1976) a proposé un indice qui prend en compte la quantité de matière organique d'un sol et la teneur en éléments fins (argile et limons fins) :

$$S_t (\%) = \frac{\text{Matière Organique en \%}}{(\text{Argile} + \text{Limons fins}) \text{ en \%}} \times 100$$

Le calcul de ce rapport permet de classer les situations comme suit :

- $S_t > 9\%$: pas de risque de déstructuration
- $S_t < 7\%$: risque élevé de dégradation physique
- $S_t < 5\%$: sol physiquement dégradé,
très sensibles à l'érosion.

Dans certains systèmes intensifs en culture mécanisée avec la traction animale dans lesquels sont pratiqués des apports d'éléments fertilisants et des amendements calcaires et organiques, la productivité des terres en culture continue peut être maintenue. Les termes du bilan minéral, avec les différents compartiments (réserve totale, réserve mobilisable et stock assimilable) sont assez bien maîtrisés actuellement et la mise au point de formules d'engrais et de doses vulgarisables tient largement compte de ces résultats.

Le maintien du stock organique des sols à un seuil restant à préciser, est un objectif prioritaire des systèmes de production afin de garder une gestion saine de la fertilité (PIERI 1989b). Les termes du bilan organique peuvent être résumés comme suit :

- entrées : amendements, biomasse racinaire
- sorties : minéralisation, érosion.

Le taux annuel de perte en matière organique (k) qui est estimé à 2% par an dans les sols ferrugineux tropicaux limono-sableux, peut s'accroître de façon importante sous l'effet :

- de l'érosion qui entraîne les particules de matière organique : sur sols érodés au BURKINA dans les Centre de Formation des Jeunes Agriculteurs (C.F.J.A.), le coefficient "k" peut passer de 3% à 10% (Rapports du Programme Coton de l'INERA),

- des techniques culturales qui favorisent une minéralisation de la matière organique déjà importante en raison des conditions climatiques (travail du sol, enfouissement de paille et de matières organiques, fertilisation minérale, engrais azotés).

CHARREAU et NICOU (1971) dans leurs études sur la modification du profil cultural en zone tropicale sèche de l'Afrique de l'Ouest montrent que la mise en culture d'un sol entraîne une détérioration rapide des propriétés physiques du sol, notamment une chute de 15% de la porosité du sol, un doublement de sa cohésion (force de pénétration) et une très forte réduction de la stabilité structurale et de la perméabilité à l'eau. Ils recommandent pour créer un profil cultural favorable à l'implantation des cultures, d'utiliser des facteurs mécaniques (travail du sol) et des facteurs biologiques (enfouissement de matière végétale).

Dans les conditions de la Casamance au SENEGAL, FAUCK (1969) décrit l'évolution des propriétés physiques et chimiques des sols sous culture : les phénomènes de battance (conséquence de la dégradation des propriétés physiques) déclenchent des processus de ruissellement et d'érosion. L'évolution de la matière organique, rapide après défrichement (perte de 30 % du stock de carbone initial en deux ou trois années) provoque une baisse de la capacité d'échange cationique ; le lessivage des bases échangeables (ainsi que leur prélèvement par les plantes) engendre un appauvrissement général en éléments minéraux et une acidification de l'horizon.

JONES et WILD (1975) font état dans leurs travaux sur les sols ferrugineux tropicaux des savanes africaines d'une migration importante d'argile en profondeur, rendant l'horizon de surface plus sableux, avec une diminution du taux de carbone et de la capacité d'échange cationique. La matière organique de ces sols dépend étroitement de la texture du sol ($C\% = 0,341 + 0,0273 \text{ Argile}\%$) : dans les conditions de drainage moins bon, le taux de matière organique augmente. La capacité d'échange cationique est en grande partie expliquée par la teneur en matière organique du sol. Ils font état d'une baisse des rendements expliquée par l'évolution des propriétés chimiques du sol sous culture continue :

- stade 1 : carence en Phosphore, puis en Azote et Soufre
- stade 2 : carence en Potassium
- stade 3 : baisse du pH, apparition d'aluminium échangeable.

Ces propriétés et leur évolution sont confirmées par BOYER (1982) dans son ouvrage sur les sols ferralitiques. La capacité d'échange cationique est faible dans ces sols en raison d'un faible taux d'argile et de la composition minéralogique de celle-ci : la kaolinite, prédominante ne possède qu'une faible C.E.C. : 5 à 10 milliéquivalent / 100 grammes. La matière organique participe aussi à la C.E.C., avec des valeurs comprises entre 100 et 200 meq/100 g. : on comprend ainsi la relation entre mise en culture, baisse du taux de carbone et baisse de la C.E.C.. Le même auteur considère qu'un sol est pauvre en azote quand la teneur en azote total est inférieure à 0,75 o/oo ; il montre une relation entre la teneur en azote et celle en phosphore assimilable (méthode Bondy) :

Azote total en o/oo
N/P = -----
P205 ass. en o/oo

Ce rapport N/P est à l'optimum entre 10 et 20 ; en dessous de cette valeur, il existe un fort besoin en azote, et au dessus nous sommes dans le cas de sols carencés en phosphore.

Il estime aussi qu'il y a carence potassique quand le rapport K/CEC en % est inférieur à 1,5 et optimum pour la disponibilité en potassium pour un rapport N/P compris entre 2 et 3.

En ce qui concerne la teneur en magnésium le seuil de carence est estimé à 0,17 m.e.q., la déficience entre 0,28 et 0,35 m.e.q.. Le problème du magnésium se pose aussi dans le cadre de l'antagonisme avec le potassium : sur cotonnier, le rapport Mg/K doit être compris entre 3 et 25 pour éviter des problèmes d'assimilation de ces deux éléments par les plantes.

L'aluminium échangeable, entraînant des phénomènes de toxicité sur le cotonnier, apparaît à partir du pH 5,5 : bien souvent il s'agit de sols lessivés, appauvris et cultivés sans restitutions.

SEMENT (1980) dans ses travaux en COTE d'IVOIRE sur des sols ferralitiques, constate que les propriétés du sol évoluent différemment suivant les fumures minérales appliquées : les engrais utilisés étant acidifiants, il a observé sur les parcelles fortement fertilisées une carence en calcium et magnésium (pertes par exportation et lixiviation), des pH plus bas et une forte teneur en aluminium échangeable. Il a ainsi démontré une perte de l'efficacité des engrais, qui peut être résolue par le chaulage. Il préconise l'utilisation d'un coefficient que nous appellerons S_b et qui est calculé comme suit :

$$S_b = \frac{(\text{Somme Bases Echangeables en meq/100 g.})^2}{(\text{Argile + Limons fins}) \text{ en \%}}$$

Quand les valeurs de ce coefficient sont inférieures à 0,3 l'auteur considère que la croissance normale du cotonnier est perturbée et que l'efficacité des engrais baisse. Au delà de 1, la culture du cotonnier pourra s'effectuer dans de bonnes conditions.

Dans la région centrale du BURKINA FASO, STOOP (1987) a introduit la notion de toposéquence dans son dispositif de suivi des propriétés des sols ferrugineux tropicaux sous différents systèmes de culture. Il a montré des différences importantes entre les caractéristiques du sol des différentes unités de la toposéquence ; les rendements obtenus varient, et l'effet des techniques améliorantes aussi (fertilisation minérale par exemple). A partir des observations conduites en milieu paysan, il a aussi montré une différenciation des techniques utilisées par l'agriculteur dans les différentes unités de sol : date de semis, densité, lutte anti-érosive,...

BERGER (1987) considère que dans les sols de l'Ouest du BURKINA FASO, il n'y a plus de réponse à la fumure minérale en dessous d'un taux de 0,6 % de matière organique dans le sol (soit 0,35% de carbone).

En conclusion, il existe deux causes fondamentales de la baisse de fertilité dans les sols ferrugineux tropicaux : l'érosion et le déficit du bilan organique. Elles sont accentuées par les pratiques culturales actuelles qui ont tendances à les amplifier. Les problèmes suivants apparaissent après quelques années de culture :

- un bilan hydrique déficitaire
- un appauvrissement minéral par la perte en colloïdes organiques et minéraux
- un effondrement structural des horizons de surface, pénalisant la colonisation racinaire
- une acidification et une désaturation des horizons de surface.

Parfois même, alors que ces sols sont dans une région où les conditions de pluviométrie sont aléatoires, ils souffrent souvent d'excès d'eau dans l'horizon cultivé (engorgement plus ou moins prolongé) et la présence d'horizons indurés limite leur réserves hydriques (PIERI 1989b). La valorisation du potentiel des sols ferrugineux tropicaux par une agriculture qui devra être de plus en plus productive pour satisfaire les besoins d'une population à croissance démographique importante, doit tenir compte des résultats développés ci-dessus, et prendre en compte les amendements organiques (SANCHEZ 1976, PICHOT 1981, ...), et les amendements calcaires (SEMENT 1980).

4.1.2 - L'évolution de la matière organique

Dans des conditions écologiques voisines de notre étude (SARIA, 800 mm de pluie, sols ferrugineux tropicaux lessivés), SEDOGO (1981) démontre que la culture continue avec exportation des résidus de culture est incompatible avec l'intensification. Il a constaté un appauvrissement des sols en carbone et azote du à une minéralisation très intense de la matière organique du sol et à un bilan humique déficitaire.

En comparant les différentes fractions de l'azote organique, il conclue qu'une forte proportion d'azote ammoniacale (NHD) reflète un état d'épuisement du sol et donc une baisse de la capacité minéralisatrice. La fraction aminée (NHND) évolue dans le même sens que la matière organique du sol, c'est à dire qu'elle diminue avec la mise en culture : elle est le siège des processus de minéralisation et de réorganisation. La mise en culture favorise donc la formation d'un humus plus évolué et plus stable.

SEDOGO (1981) a observé une répartition inégale des résidus de culture et des produits organiques suivant les types de champ dans le paysage agraire du Plateau Mosi : il en déduit un transfert de fertilité des champs de brousse vers les champs de case, comme l'indique le tableau 10 :

Tableau 10 : Paramètres chimiques observés dans différents types de champ du "Plateau Mosi".

	Carbone	CEC	P assim.	pH eau
Champ de case	1,1-2,24	4,2-12	20-220	6,7-8,25
Champ intermédiaire	0,5-0,95	3-4,2	13-16	5,75-7
Champ de brousse	0,24-0,43	2,4-3	5-16	5,75-6,2

Source : SEDOGO 1981. D'après enquêtes agronomiques dans le village de SARIA ; Carbone en % ; CEC capacité d'échange cationique en meq/100 grammes ; P assimilable (OLSEN) en ppm.

Les champs de case bénéficient d'apports continus de matière organique, alors que les résidus de récolte des champs de brousse sont systématiquement exportés.

Dans une écologie différente (Farako-Bâ, 1100 mm de pluie, sols faiblement ferrallitiques), HIEN (1990) constate aussi une baisse progressive des rendements en coton malgré l'application d'une fumure minérale dans un essai mesurant les arrières effets d'un apport de fumier. Il conclue à la désaturation du complexe absorbant du sol exprimée par des phénomènes d'acidification et par l'apparition d'aluminium échangeable : cette désaturation rend inefficaces les apports d'éléments nutritifs apportés. Le bilan de certains éléments est négatif en raison de :

- la non-restitution des pailles de céréales dans la rotation pratiquée (bilan potassique déséquilibré),
- leur absence dans les engrais minéraux complexes vendus au BURKINA (l'"engrais coton" ne contient ni calcium, ni magnésium).

Le taux annuel de perte en matière organique est très élevé dans certains cas, et HIEN (1990) explique une évolution rapide de 2% à 6% par l'intensification : elle a entraîné une accélération des phénomènes d'érosion et une minéralisation importante. En ce qui concerne les fractions de l'azote organique du sol, il considère que la fraction aminée (NHND), de nature biologique, est dépendante des techniques culturales, alors que la fraction ammoniacale (NHD) (composée d'acides fulviques et humiques) est une propriété intrinsèque du sol (en liaison étroite avec la CEC et le taux d'argile) et évolue très peu en fonction des techniques.

BERGER (et al. 1987) et HIEN (1990) recommandent donc dans le cadre d'une intensification l'apport de fumier à une dose de 6 tonnes à l'hectare tous les 3 ans afin de maintenir une bonne efficacité des engrais minéraux dans les systèmes intensifs "cotonnier/maïs/sorgho" de l'Ouest du BURKINA. Une intégration de l'agriculture et de l'élevage s'avère alors indispensable dans cette optique afin de transformer les pailles de céréales en fumier.

4.1.3 - L'essai "Entretien de la fertilité" à SARIA

Un essai de longue durée est installé depuis 1958 à la station de SARIA située au centre du BURKINA, avec des conditions pluviométriques inférieures à celles de HOUNDE (d'environ 100 mm), mais sur le même type de sol. SEDOGO (1981) et PICHOT (1981) ont tiré du dispositif des conclusions sur l'évolution des propriétés d'un sol sous culture continue dans des systèmes culturaux différents (fertilisation minérale, apport de matière organique, rotation, alternance avec des légumineuses).

Après plusieurs années, la culture continue de sorgho en absence d'engrais minéraux ne permet pas d'espérer des rendements annuels supérieurs à 150 Kg/ha de grains. L'utilisation d'engrais minéraux assure une augmentation des rendements pendant quelques années, puis provoque l'appauvrissement du sol en bases échangeables et une acidification : celle-ci induit une carence en potassium et une toxicité aluminique (très défavorable à la levée des plantules). Les apports et enfouissements de matière organique (surtout le fumier) jugulent les effets nocifs des fumures minérales exclusives et permettent une stabilité du taux de carbone dans le sol. Dans le cas d'apports massifs, de l'ordre de 40 tonnes à l'hectare tous les 2 ans, dose malheureusement incompatible avec les disponibilités des exploitations, nous assistons à une augmentation du taux de carbone dans le sol.

L'évolution des principales propriétés chimiques du sol sont résumées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Evolution de quelques paramètres chimiques dans un sol en culture continue, observés dans l'essai "Entretien de la Fertilité" de SARIA.

		Témoin	fm	fmo
Carbone en %	1960 *	0,35	0,35	0,35
	1969	0,29	0,29	0,31
	1978	0,25	0,24	0,35
pH eau	1969	5,3	5,1	5,5
	1978	5,2	4,6	5,2
Al éch. en ppm	1969	3,4	7,6	0,0
	1978	15,0	47,0	10,0

Source : PICHOT et al. (1981) ; culture continue de sorgho ; fm = fumure minérale ; fmo = fumure minérale avec apport de fumier (5T/ha tous les 2 ans) ; * jachère ou sol de départ.

Les phénomènes d'acidification en présence de fumures minérales sont ici bien mis en évidence (pH et aluminium échangeable), ainsi que la perte en carbone. La combinaison avec des apports de fumier permet une stabilisation des ces propriétés, même après 18 années de culture.

4.1.4 - L'expérimentation multilocale et les enquêtes de fertilité dans la zone cotonnière du BURKINA

Les agronomes du Programme Coton INERA-IRCT (BERGER et al. 1987) ont travaillé depuis de longues années dans la zone cotonnière du BURKINA (comprise entre les latitudes 11° et 12°30 et les longitudes 3° et 5° autour de la ville de BOBO-DIOULASSO).

La notion de maintien de fertilité dans les systèmes cotonniers a été étudiée dans des expérimentations thématiques comme les essais soustractifs, situés en station de recherche ainsi qu'en point d'appui et une approche régionale du problème a été mise en oeuvre par des enquêtes menées en milieu paysan.

D'après l'enquête régionale, établie à partir d'analyses de sol effectuées sur 123 parcelles, il est apparu que le pH n'est pas un critère suffisant d'appréciation : il est nécessaire de le compléter avec le taux de carbone et la capacité d'échange cationique ainsi que le taux d'aluminium échangeable (tableau 12).

Tableau 12 : Résultats descriptifs de l'enquête d'analyses de sol dans les 123 parcelles paysannes.

	Médiane	1er quartile	3ème quartile
Carbone %	0,67	0,47	0,76
CEC meq/100g	4,3	3,0	5,3
pH	5,9	5,5	6,4

Source : Rapport 1985/86 du Programme Coton INERA.

Ces chiffres nous donnent une idée des valeurs de certains paramètres dans des parcelles paysannes ; les parcelles les plus dégradées avaient des taux de carbone dans le sol inférieurs à 0,35 % , un pH inférieur à 5 et un taux d'aluminium échangeable supérieur à 0,25 milliéquivalent pour 100 grammes de sol.

Sur la ferme de BONI (ferme semencière et expérimentale) située à 20 kilomètres de notre zone d'étude, dans une écologie identique à notre zone d'étude, les chercheurs du Programme Coton de l'INERA ont obtenu des résultats intéressants sur un essai "réponse à l'engrais" en 1985 et 1986. Cet essai a été conduit sur des parcelles mises en culture respectivement depuis 9 et 12 années dans un système de motorisation intermédiaire (tracteur de 25 CV). Il a été installé sur des unités de sol différentes : en reprenant la classification vernaculaire, le premier essai se situait en haut de pente sur sol "sansana" (Unité 1) et le second en bas de pente sur un sol "laboro" (Unité 2), blanchi et présentant des phénomènes d'hydromorphie.

Les résultats obtenus dans ces deux essais montrent des différences très importantes entre les deux sites, pourtant situés sur la même ferme. Les résultats de laboratoire montrent que la dégradation est beaucoup plus prononcée dans l'essai sur sol de bas de pente avec une acidification manifeste (pH de 4,55 et présence d'aluminium échangeable), mais moins évidente sur le sol de haut de pente, gravillonnaire (tableau 13).

Tableau 13 : Résultats d'analyses de sol sur les essais "Réponse à l'engrais" de BONI.

	Essai 2	Essai 3
Unité de sol	sansana	laboro
Argile+limons%	11,1	26,1
Sables (>20µ)%	78,9	73,9
Carbone %	0,64	0,46
Azote %	0,60	0,42
Phosphore total ppm	289	163
Phosphore ass.ppm	32	23
pH	5,75	4,55
Al. échan.meq/100	0	0,29
CEC en meq/100	2,60	1,61

Les rendements sur le cotonnier varient de 1 à 4, mais il n'existe aucune efficience de la fumure minérale, que ce soit à un niveau élevé (3 T/ha) ou très faible (0,7 T/ha) alors que les fonctions de production n'indiquent pas de déficience en éléments minéraux (tableau 14).

Tableau 14 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton et fonctions de production (par la méthode des diagnostics foliaires) dans les essais "Réponse à l'engrais" à BONI en 1985.

	Essai 2	Essai 3
Témoin en Kg/ha	2812	668
F(N)	107	93
F(P)	106	93
F(K)	93	92
Fum. vulg. en Kg/ha	2964	774
F(N)	107	103
F(P)	105	97
F(K)	98	95

Source : Rapport annuel 1985/86 Programme Coton INERA
La fumure vulgarisée se décompose comme suit :
46 N - 32 P2O5 - 23 K2O

Nous retrouverons par la suite ces différences entre unités de sol dans notre dispositif. Il nous faut signaler toutefois que ces résultats ont été obtenus dans des systèmes de culture en motorisation intermédiaire où l'évolution des composantes de la fertilité est certainement plus rapide qu'en système traditionnel ou en culture attelée bovine.

Dans les Centres de Formation des Jeunes Agriculteurs (CFJA) de la zone cotonnière, cette même équipe a conduit des essais longue durée pendant 15 années (5 cycles "cotonnier - sorgho -arachide"), tous situés sur des sols ferrugineux tropicaux.

Les principales conclusions de ces expérimentations montrent une décroissance des rendements en coton et une évolution des propriétés physico-chimiques du sol tendant vers une acidification et un appauvrissement en matière organique. Les valeurs moyennes pour 6 essais de la zone figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15 : Evolution des propriétés chimiques du sol dans les essais CFJA au cours des 5 cycles de culture.

	Carbone %	Azote %0	Phosphore total ppm	pH
Cycle 1	0,87	0,75	287	6,45
Cycle 2	0,78	0,81	187	6,15
Cycle 3	0,72	0,72	162	5,6
Cycle 4	0,35	0,38	157	5,8
Cycle 5	0,35	0,33	142	5,65

Source : Rapport annuel 1983/1984 Programme Coton INERA

L'évolution de la teneur en carbone et du taux de perte annuel en matière organique sont très caractéristiques dans ces essais : de 2 à 3 % par an durant les 3 premiers cycle, ce taux passe à 15 % par an. Bien qu'elle n'ait pas fait l'objet de mesures, l'érosion semble être une cause de cette évolution subite, en nette augmentation à partir d'un seuil de matière organique. Dans les derniers cycles, on assiste à une stabilisation de la teneur en carbone du sol à des valeurs très faibles.

4.1.5 - Conclusion

Les nombreux résultats disponibles ont été acquis dans des situations en milieu contrôlé et sur de longues périodes. Parmi les recommandations de PIERI (1989a), nous pouvons retenir la proposition d'approcher la fertilité des sols dans des situations réelles du milieu rural pour compléter et valoriser ces résultats. Notre travail s'inscrit dans ce schéma et contribue à la mise au point de la méthodologie d'approche en milieu rural des problèmes agronomiques.

Il est difficile de mettre en place et de suivre des expérimentations de longue durée dans le milieu paysan des savanes africaines : le petit parcellaire et les difficultés de mise en place des cultures (fortement dépendante des conditions climatiques) sont deux des principales contraintes. Au lieu de conduire des expérimentations sur plusieurs années et de suivre l'évolution de la fertilité, nous avons implanté des essais de courte durée dans des parcelles d'historiques et de niveaux de fertilité différents.

Nous avons utilisé aussi la méthodologie développée par certains auteurs, dont SANCHEZ (1976) pour valoriser au mieux les différents outils de diagnostics de fertilité : les analyses de sol et de plante, la détermination des potentiels des sols en serre et l'expérimentation au champ.

4.2 - Les résultats des expérimentations

4.2.1 - Implantations et protocoles

Avant d'implanter les dispositifs dans différentes situations du milieu paysan, nous avons conduit une expérimentation dans des micro-pots avec du fonio (*digitaria exilis*). Après broyage et tamisage à 2 mm, les échantillons de sol prélevés dans chaque site ont été séparés en deux parties : une a été expédiée au laboratoire afin de réaliser les analyses physico-chimiques, une autre a été conservée sur place et mise en micro-pots (contenant environ 190 grammes de sol). Le dispositif comportait deux traitements (témoin et fertilisé) et trois répétitions pour chacun des 59 sites (soit 236 micro-pots).

Dans le cadre des essais au champ, nous avons implanté trois types d'expérimentations :

- les essais "matière organique" (maïs 88, cotonnier 89)
- les essais "fertilisation" (deux séries maïs et cotonnier en 1988 et 1989)
- les tests de réponse à l'engrais (cotonnier).

Tous les essais ont été mis en place dans les différentes unités de sol, caractérisées par la dénomination vernaculaire. Le dispositif retenu était celui des blocs de Fisher avec trois répétitions : les parcelles comportaient 8 lignes de semis (écartement de 0,80 mètre) sur 15 mètres de long, soit 96 m² et étaient contiguës, sans allées. La parcelle utile récoltée mesurait 38,4 m².

En ce qui concerne les tests de réponse à l'engrais, implantés sans répétition en 1988 et avec deux répétitions en 1989, nous avons utilisé les mêmes dimensions de parcelle.

Les différents traitements que nous avons mis en comparaison concernent la fertilisation minérale à dose vulgarisée, l'utilisation d'urée, l'emploi de matières organiques et enfin la parcelle témoin sans aucun apport.

Toutes ces expérimentations ont été effectuées dans des parcelles paysannes en tenant compte des différentes unités de sol et en utilisant les deux principales cultures de la région que sont le cotonnier et le maïs.

Dans la plupart des systèmes de culture rencontrés dans la région, ces deux productions bénéficient d'apports de fertilisants minéraux, systématiques sur le cotonnier et fréquents sur le maïs. Les techniques culturales ont été accomplies entièrement par l'agriculteur, aux dates et avec les outils choisis par lui ; nous lui avons simplement demandé de cultiver l'ensemble de la parcelle de façon homogène. Seuls les épandages des engrais et matières organiques ont été effectués par nos soins, le même jour que l'intervention paysanne.

4.2.2 - Résultats des cultures en pots

L'expérience des cultures en micro-pots devait nous permettre d'exprimer à travers le poids de matière sèche de fonio (*digitaria exilis*) à 3 semaines :

- le potentiel de production de l'horizon de surface des différents sites (pot témoin)
- la réponse à la fertilisation minérale de ce même horizon.

Nous rappelons toutefois que seule la fraction "terre fine" ($< 2 \text{ mm}$) a été utilisée et qu'elle ne représente qu'une partie de l'horizon concerné (0-20 cm). La représentativité des sols "sansana" (Unité 1), gravillonnaires, à forte proportion d'éléments grossiers ($> 2 \text{ mm}$) est affectée dans l'utilisation des micro-pots de terre fine. Le dispositif comportait deux traitements et trois répétitions (toutefois, en raison de problèmes expérimentaux, les résultats ont été exploités sur deux répétitions seulement) :

T1 : témoin

T2 : pot fertilisé au semis

avec un apport d'une solution contenant :

100 ppm de N (phosphate d'ammonium et urée)

100 ppm de P (phosphate d'ammonium)

50 ppm de K (sulfate de potassium)

10 ppm de Mg (chlorure de magnésium)

20 ppm de S (sulfate de potassium)

Les résultats par unité de sol de la production de matière sèche de fonio (parties aériennes) sont présentés dans le tableau 16 et sont exprimés en grammes après trois semaines de culture pour l'ensemble des sites.

Tableau 16 : Résultats des cultures en pots présentés pour l'ensemble des sites et ensuite par unité de sol en grammes de matière sèche de fonio par micro-pot.

	ENSEMBLE	Unité1 SANSANA	Unité3 HANDE	Unité2.0 LABORO	Unité2.2 LABOROB
Nombre de sites	59	16	15	16	12
Historique (ans)	8	7	11	8	4
					**
Témoin	0,39 a	0,38	0,36	0,39	0,43
Fumure	0,61 b	0,59	0,59	0,61	0,66
Réponse à la fertilisation	0,22	0,21	0,23	0,22	0,24

Analyse statistique :

Sur l'ensemble des sites : Analyse de variance effectuée sur le dispositif factoriel :

Facteur 1 : réponse à l'engrais : Significatif à 1%

Facteur 2 : sites : Significatif à 1%

Interaction : Significatif à 1%

Coefficient de variation = 11,4% ; ETM = 0,007

Les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Sur les unités de sol : Analyse de variance à un facteur ; n = 59

(**) différence significative à 1% entre les unités de sol

Les valeurs obtenues dans les pots témoins nous indiquent le potentiel de l'horizon prélevé pour une culture de fonio. Les moyennes montrent quelques différences entre les unités : les sols "laboro-bondé" (Unité 2.2) possèdent la meilleure capacité de production (moyenne de 0,43 gramme). La variabilité des productions de matière sèche de fonio par site est importante : par exemple pour les sols "sansana" (Unité 1), le maximum est de 0,54 gramme, le minimum de 0,22 gramme ; dans le cas des sols "handé" (Unité 3), ils sont respectivement de 0,50 et 0,24 gramme.

Les résultats obtenus dans cette expérimentation montrent un effet positif et significatif (156 % du témoin) de la fertilisation minérale sur les rendements en matière sèche pour l'ensemble des situations. Entre les unités de sol, les différences ne sont pas significatives, sauf dans le cas de la variable "âge de la parcelle" dans laquelle a eu lieu le prélèvement.

En regardant la figure 21 dans laquelle pour chaque Unité de sol nous avons mis les témoins en ordre croissant, la réponse à la fertilisation minérale observée dans les micro-pots est très variable et n'est pas corrélée au niveau du témoin. Les photographies de la figure 22 montrent deux exemples de réponse à la fertilisation de façon spectaculaire.

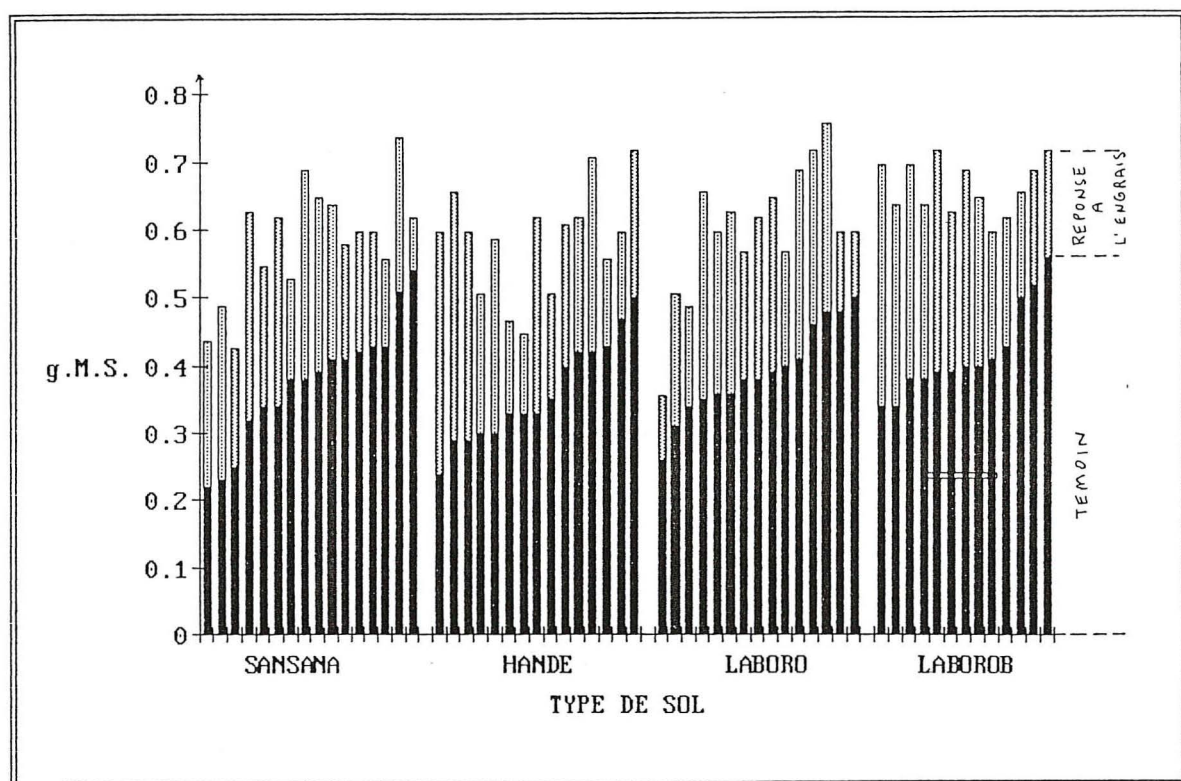


Figure 21 : Rendements en grammes de matière sèche de fonio dans les cultures en micro-pots.



(Cliché MORANT)

Figure 22 : Photographies visualisant l'effet de la fumure NPK dans l'expérimentation en micro-pots.

4.2.3 - Résultats au champ sur 59 sites

Les observations ont été faites sur le cotonnier et le maïs pendant les campagnes agricoles 1988 et 1989 ; les résultats présentés dans les tableaux sont toujours exprimés en Kg/ha de grain de maïs à 15% d'humidité ou en Kg/ha de coton-graine. Pour les essais, ils ont fait l'objet d'une analyse de variance essai par essai et d'une analyse de variance des regroupements d'essais.

4.2.3.1 - Essais "Matière Organique"

Le but de ces essais est d'étudier la réponse aux engrais et à la matière organique afin d'apprécier la fertilité du sol et ses potentialités dans des exploitations produisant de la matière organique. Les amendements organiques ont été effectués avec de la terre de parc (bouse de bovins déséchée), seule source de matière organique disponible.

L'application de fumier a eu lieu en 1988 à raison de 5 tonnes à l'hectare de terre de parc : en 1989, c'est l'arrière-effet de l'application de matière organique qui est mesuré sur une culture de cotonnier. En 1988 onze essais ont été implantés sur les quatre sols différents ; en 1989 seulement six essais ont été conservés dans le cadre de la succession "maïs-cotonnier" (les 5 parcelles cultivées en sorgho n'ont pas fait l'objet d'observations).

Les unités fertilisantes apportées sont les suivantes (N - P2O5 - K2O - S) :

* sur cotonnier :	51 - 34 - 21 - 9
* sur maïs :	60 - 23 - 14 - 6

Les résultats obtenus (tableau 17, figure 23 et annexe 7) attirent les remarques suivantes :

- le niveau de rendement des témoins "0" et des témoins "00" sont élevés (2T/ha de maïs et 1T/ha de coton) : les résultats peuvent être justifiés par le fait que ces essais ont été conduits dans des systèmes de culture pratiquant une succession "maïs-cotonnier" avec application systématique de fertilisant chimique depuis plusieurs années.

- la matière organique apportée est peu valorisée, même en présence d'engrais minéral (115 à 120 % du témoin) ; la composition moyenne (en éléments organiques et minéraux) de celle-ci expliquent ce faible effet : 49 % de silice (matière inerte) et 28 % de perte au feu (voir les résultats complets en annexe 14). L'arrière effet de cet apport sur la culture de cotonnier l'année suivante se concrétise par un surplus de rendement de l'ordre de 150 à 300 Kg/ha (110 à 130 % du témoin).

- la réponse à la fertilisation minérale est importante, malgré les niveaux de rendement des témoins élevés ; les deux cultures, maïs et cotonnier, pratiquées dans des systèmes intensifiés (préparation du sol, semences sélectionnées, traitements phyto-sanitaires, désherbage) valorisent bien dans la majorité des cas l'apport de fumure minérale.

Tableau 17 : Résultats de rendement en Kg/ha des essais "Matière Organique" dans les sites d'essais.

	1988 Maïs (**)	1988 Maïs (-)	1989 Coton (*)
Témoin 0	2023 d	1940	1016 c
Fumure vulgarisée	3867 b	3826	1724 a
Fumier à 5T/ha	2435 c	2433	1305 b
Fum. vulg. + Fumier	4466 a	4505	1883 a

Analyse statistique :

Méthode du regroupement d'essais.

Les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% (a,b,c,d) (test de NEWMAN-KEULS).

Analyse statistique sur maïs :

(**) : 11 essais interprétés en 1988

Interaction "lieu x réponse MO" Significative (P = 0,0018)

ETR = 805 Kg/ha ETM = 243 Kg/ha

(-) valeurs moyennes en 1988 des essais reconduits en 1989

Analyse statistique sur coton :

(*) : 6 essais interprétés en 1989

Interaction "lieu x réponse MO" Significative (P = 0,032)

ETR = 258 Kg/ha ETM = 104 Kg/ha

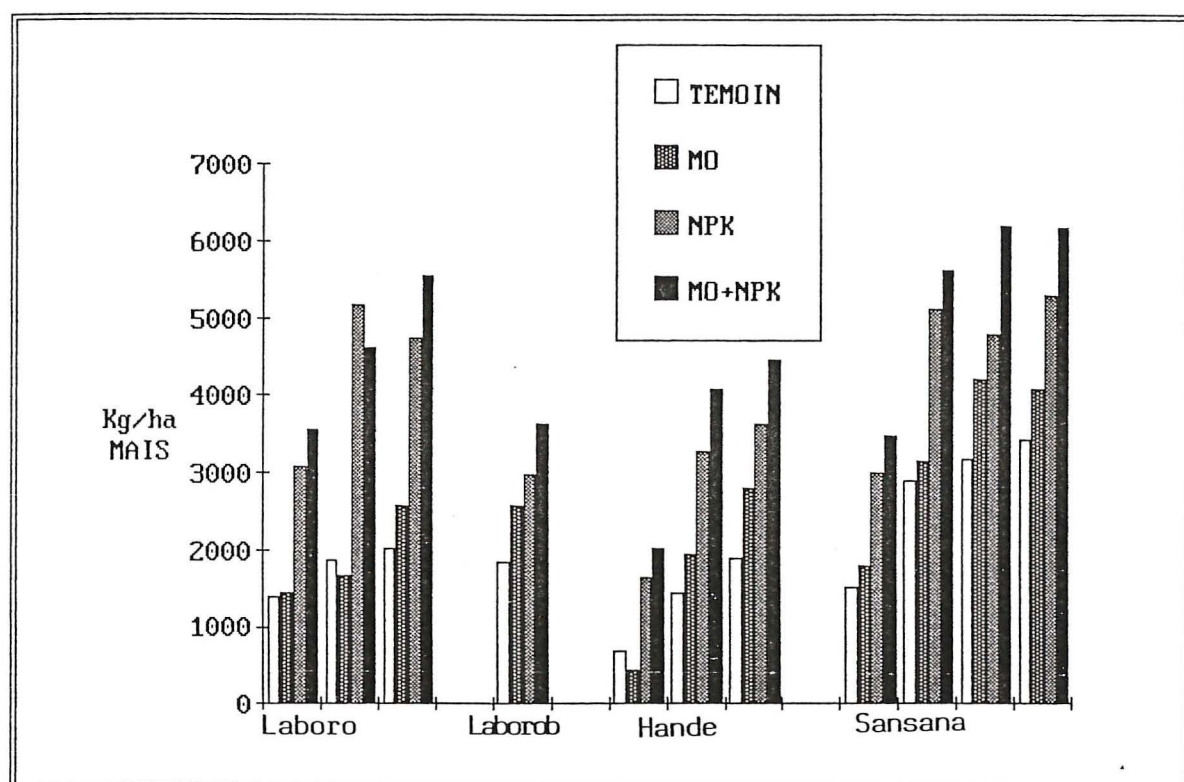


Figure 23 : Rendements en Kg/ha de maïs des essais "matière organique" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

4.2.3.2 - Essais fertilisation

Dans ces essais nous avons vérifié la réponse aux engrais dans différentes situations (sol, historique parcellaire) afin d'apprécier la fertilité actuelle et les potentialités. L'effet de différentes fumures minérales a été comparé au témoin absolu :

- la fumure vulgarisée à base d'"engrais coton" et d'urée
- la fumure à base de produit "Timac" et d'urée
(même dose que la fumure vulgarisée)
- la fumure azotée seule à base d'urée.

Le produit "Timac" a été fabriqué par la société TIMAC en France à partir de phosphates naturels de KODJARI (gisement de phosphates situé à l'extrême est du BURKINA) : le produit brut, peu soluble (MORANT 1985) a subi une acidulation partielle et une granulation. La composition minérale de cet engrais était de :

2 N - 23,4 P2O5 - 0 K2O - 2,1 S

L'application des différentes fumures a eu lieu de la même façon en 1988 et 1989. Nous mesurons donc les effets cumulatifs des différentes fumures appliquées de la succession "maïs-cotonnier". L'engrais a été épandu à la volée sur les parcelles et enfoui simultanément avec le premier sarclage. Les unités fertilisantes apportées sont les suivantes (N - P2O5 - K2O - S) :

"Engrais coton" et TIMAC (complétés d'urée) :

- sur cotonnier : 51 - 34 - 21 - 9
- sur maïs : 60 - 23 - 14 - 6

Urée seule :

- sur cotonnier : 23 - 0 - 0 - 0
- sur maïs : 46 - 0 - 0 - 0

En 1989 seuls huit essais ont été conservés dans le cadre de cette succession. En examinant les résultats d'ensemble (tableaux 18 et 19, figures 24 et 25 et annexes 8 et 9), nous confirmons la remarque faite pour les essais "matière organique" sur le niveau de rendement élevé des témoins.

Pour la culture du cotonnier et du maïs la fumure minérale à dose vulgarisée apporte un surplus de rendement significatif de 500 Kg/ha de coton (133 % du témoin) et de 1200 Kg/ha de maïs (156 % du témoin). La forme de l'engrais ("engrais coton" ou "Timac") n'a pas d'incidence sur le rendement observé sur deux années.

L'application d'une fumure exclusivement azotée à base d'urée (quelquefois rencontrée dans les agro-systèmes pratiqués) n'apparaît pas valorisante sur la culture du cotonnier ; au contraire sur la culture du maïs, elle permet des gains de l'ordre de 500 à 800 Kg/ha (130 % du témoin). Ces résultats positifs sur l'urée doivent être limités à notre étude, et ne concernent que deux années d'expérimentation dans des systèmes qui reçoivent des apports de fertilisants réguliers. La carence en phosphore et le déséquilibre Azote-Phosphore risquent de se manifester rapidement ; la généralisation de cette formule de fumure composée uniquement d'engrais azotée entraînerait à long terme des déséquilibres minéraux.

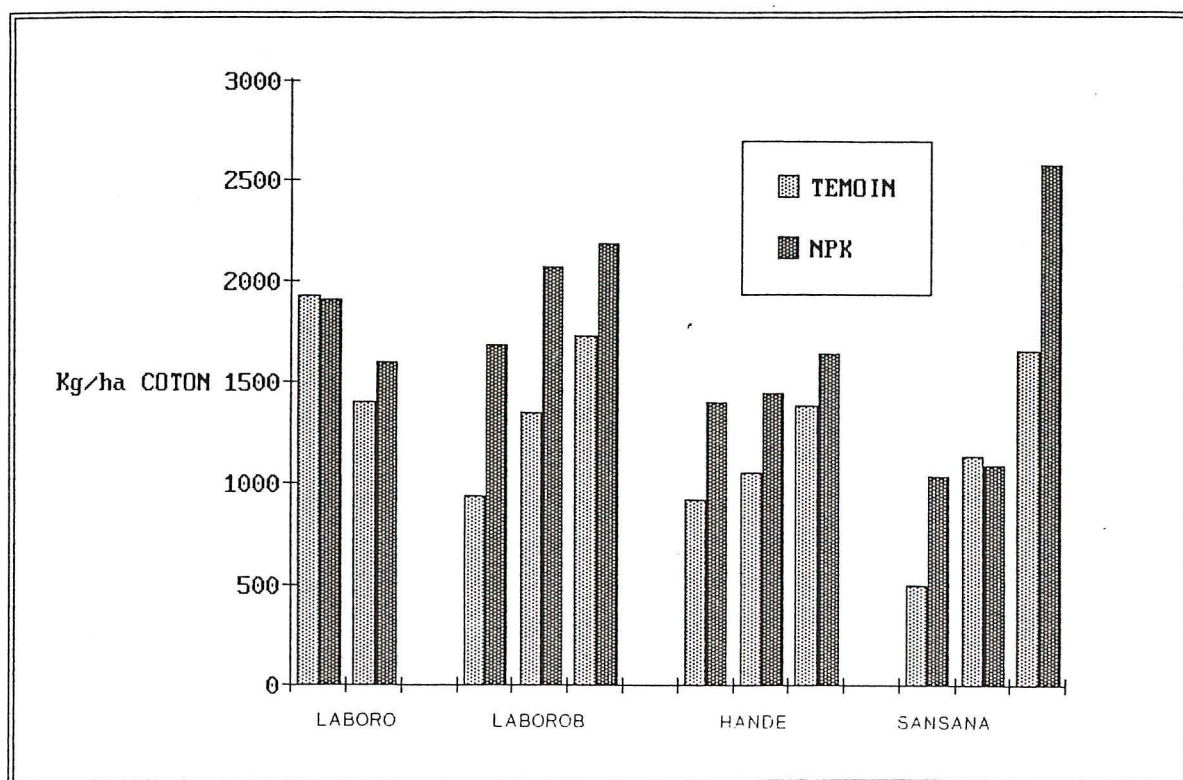


Figure 24 : Rendements en Kg/ha de coton des essais "fertilisation" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

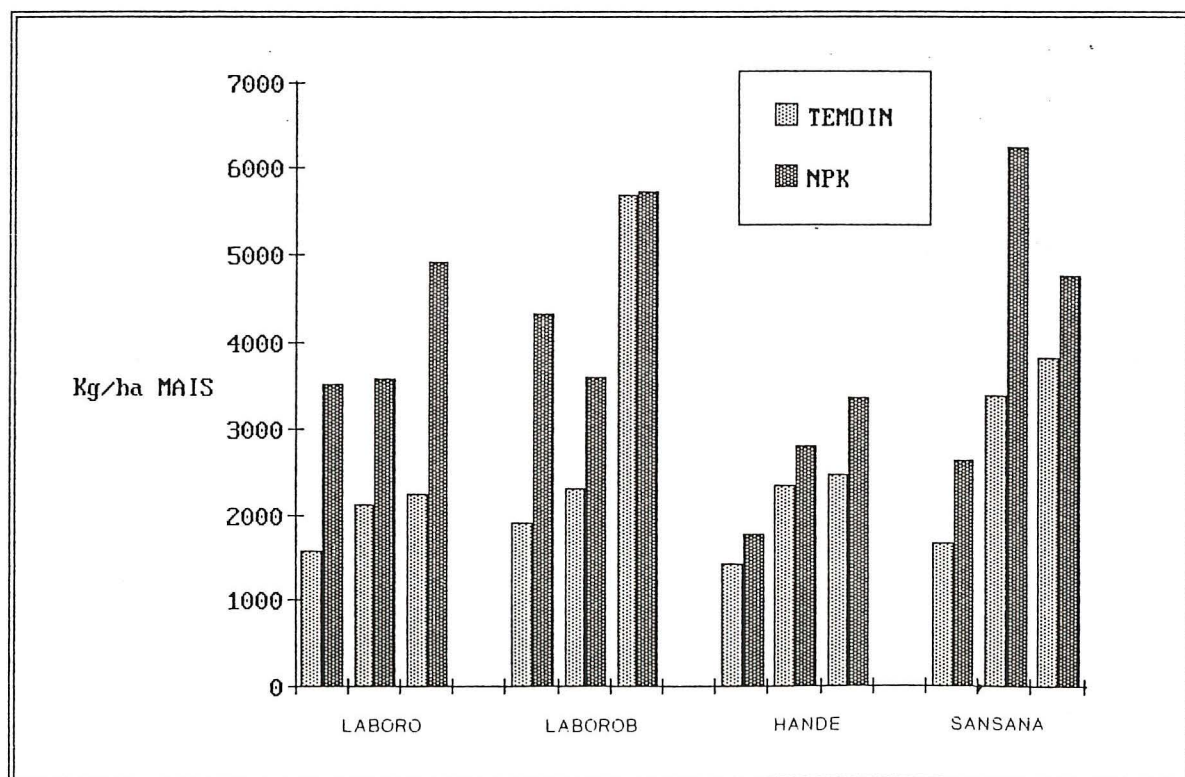


Figure 25 : Rendements en Kg/ha de maïs des essais "fertilisation" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

Tableau 18 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des essais "Fertilisation" dans les sites d'essais.

	1988 Coton (**)	1988 Coton (-)	1989 Coton (*)
Témoin 0	1271 b	1407	833 b
Fumure vulgarisée	1693 a	1832	1409 a
Engrais TIMAC	1617 a	1749	1341 a
Urée seule	1315 b	1424	987 b

Analyse statistique :

Méthode du regroupement d'essais

Les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% (a,b,c,d) (test de NEWMAN-KEULS).

(**) : 11 essais interprétés en 1988

Interaction "lieu x réponse à l'engrais" Non Significative (P = 0,095)

ETR = 260 Kg/ha ETM = 76 Kg/ha

(-) valeurs moyennes en 1988 des essais reconduits en 1989

(*) : 8 essais interprétés en 1989

Interaction "lieu x réponse à l'engrais" Significative (P = 0,049)

ETR = 276 Kg/ha ETM = 81 Kg/ha

Tableau 19 : Résultats de rendement en Kg/ha de maïs des essais "Fertilisation" dans les sites d'essais.

	1988 Maïs (**)	1988 Maïs (-)	1989 Maïs (*)
Témoin 0	2469 c	3002	2260 c
Fumure vulgarisée	3852 a	4521	3760 a
Engrais TIMAC	3740 a	4565	3344 a
Urée seule	3255 b	4077	2698 b

Analyse statistique :

Méthode du regroupement d'essai

Les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% (a,b,c,d) (test de NEWMAN-KEULS).

(**) : 11 essais interprétés en 1988

Interaction "lieu x réponse MO" Significative (P = 0,016)

ETR = 807 Kg/ha ETM = 242 Kg/ha

(-) valeurs moyennes en 1988 des essais reconduits en 1989

(*) : 8 essais interprétés en 1989

Interaction "lieu x réponse MO" Significative (P = 0,034)

ETR = 240 Kg/ha ETM = 86 Kg/ha

4.2.3.3 - Les tests de réponse en 1988

Ces tests installés en 1988 pour une année ont permis d'analyser la fertilité actuelle de certaines parcelles paysannes, et de montrer l'effet de la fertilisation minérale à dose vulgarisée sur la culture du cotonnier dans de nombreuses situations différentes de sol, d'historique parcellaire et de systèmes de culture.

Au total, 24 tests ont été implantés dans des parcelles cultivées en cotonnier, 12 dans des systèmes en culture attelée bovine et 12 dans des systèmes en culture manuelle. La fumure minérale appliquée (en unités de N - P205 - K20 - S) était :

51 - 34 - 21 - 9

Au vu des résultats, les remarques faites précédemment sur les niveaux de rendement des témoins et sur l'effet de la fumure vulgarisée se confirment (tableau 20, figure 26 et annexe 10).

Les rendements en coton observés dans les parcelles paysannes contiguës au test montrent des rendements intermédiaires entre le rendement du témoin et celui de la parcelle fertilisée : les conditions d'expérimentation et l'ajustement des doses de fertilisant (le plus souvent à la baisse) par les exploitants, peuvent justifier ces rendements.

Dans les agro-systèmes où l'exploitant pratique la culture attelée bovine en utilisant la charrue pour la préparation du sol, le corps sarclleur-butteur pour les sarclages et buttages, l'apport d'une fumure minérale à dose recommandée, est valorisée par un surplus de rendement de 600 Kg/ha de coton (158 % du témoin). Dans les exploitations qui ne disposent pas de matériel ni d'animaux, les travaux sont conduits à la daba ; dans ces conditions l'application de la fumure vulgarisée permet un gain de 300 Kg/ha de coton (132 % du témoin).

4.2.3.4 - Les tests de réponse en 1989

Le but de ces tests était de mesurer dans de nombreuses situations (systèmes de culture, itinéraires techniques, sol, topo-séquence) la réponse du cotonnier à la fumure minérale.

En 1989, toutes les parcelles des quartiers de DANKUI et MOUNA ont été suivies au niveau des dates et des types de travaux, ainsi que des outils utilisés. Dans toutes les parcelles de cotonnier (56), un test de réponse à la fumure a été implanté. Les résultats exploitables concernent 50 sites, dont 21 dans des systèmes pratiquant la culture attelée, et 29 dans des systèmes sans traction animale (tableau 21, figure 26 et annexe 11).

La fumure minérale appliquée (en unités de N - P2O5 - K2O - S) était :

51 - 34 - 21 - 9

Dans ces tests en 1989, le niveau de rendement des témoins est plus faible que dans les expérimentations précédentes : la pluviométrie de la campagne 1990, l'historique parcellaire, la fertilité actuelle des parcelles de ces deux quartiers, sont autant de facteurs pouvant justifier ces résultats.

La différence de rendement entre les témoins et les parcelles ayant reçu la fumure vulgarisée est d'environ 650 Kg/ha de coton (189 % du témoin).

Le système "culture attelée" est très hétérogène ; en enquêtant sur les itinéraires techniques, nous nous sommes aperçus que les préparations de sol n'étaient pas toujours effectuées en traction animale (labour ou scarifiage). Dans ce cas, les animaux ne sont utilisés que pour les sarclages. Dans 50 % des situations, le semis a été effectué sans préparation de sol : cette technique se rapproche de l'itinéraire pratiqué par les paysans en culture manuelle. Il existe au niveau des rendements des témoins des différences importantes ; la réponse à la fertilisation (surplus de rendement) est peu différente d'une situation à l'autre (500 à 600 Kg/ha en moyenne).

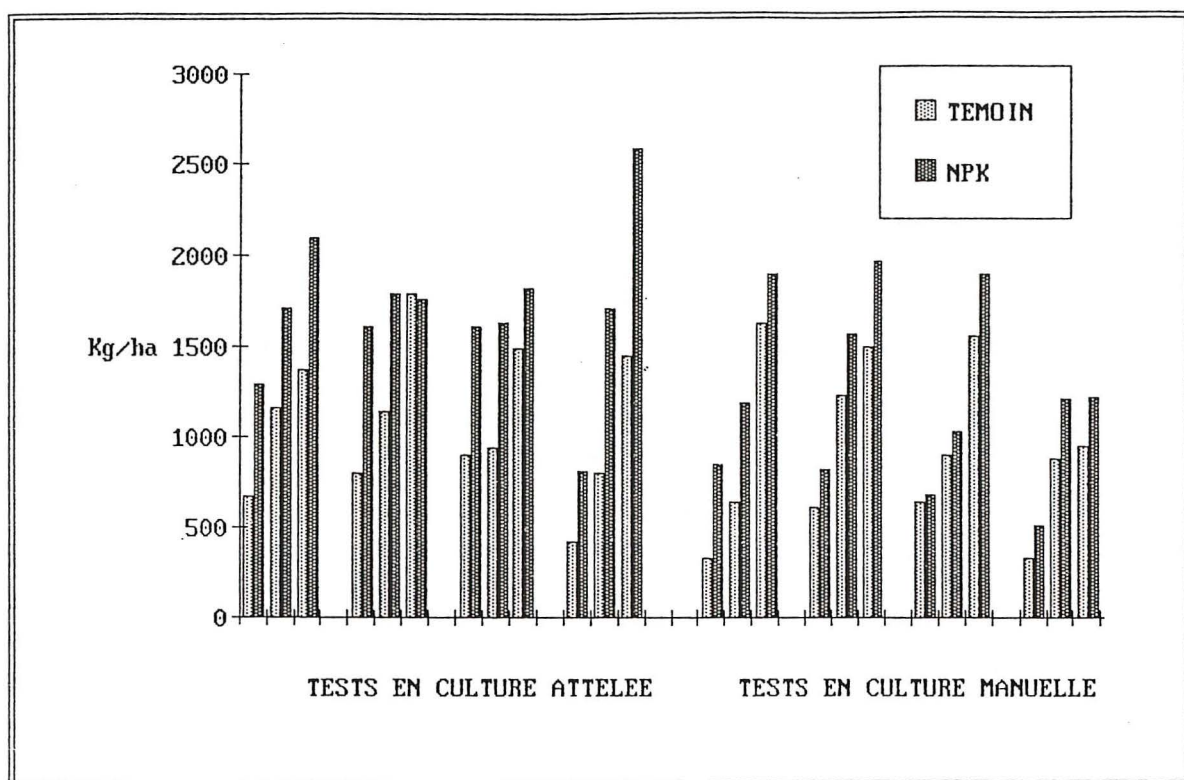


Figure 26 : Rendements en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fertilisation minérale en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" dans les différents systèmes de culture.

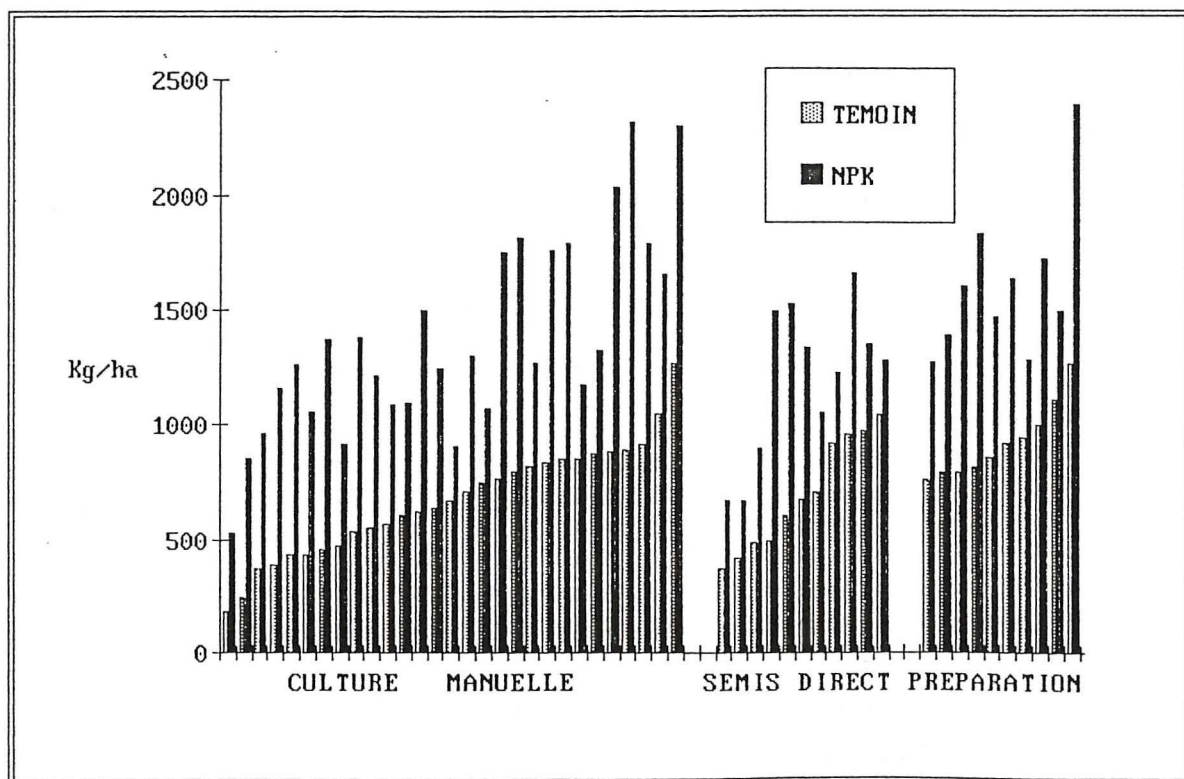


Figure 27 : Rendements en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fertilisation minérale en 1989 sur les traitements "témoin" et "NPK" dans les différents systèmes de culture.

Tableau 20 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à l'engrais en 1988.

	C.Manuelle	C.Attelée	TOTAL
Nombre de tests	12	12	24
Témoin	943	1086	1014
Fumure vulgarisée	1246	1711	1478
Témoin paysan	1095	1407	1251

Analyse statistique : Le dispositif ne comportant pas de répétitions, une analyse de variance à 1 facteur a été réalisée sur le total :

Témoin : $F = 0,674$ ($P = 0,425$) Non significatif C.V. = 42% ETM = 87 Kg/ha

Fum. vulg. : $F = 6,13$ ($P = 0,02$) Significatif C.V. = 34% ETM = 103 Kg/ha

Tém. pays. : $F = 3,29$ ($P = 0,08$) Non significatif C.V. = 35% ETM = 89 Kg/ha

Tableau 21 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse en 1989.

	C.Manuelle	C.Attelée Semis direct	C.Attelée Préparation	TOTAL
Nombre de tests	29	11	10	50
Témoin	678	706	939	737
Fumure vulgarisée	1385	1211	1625	1396

Analyse statistique :

Réponse à la fumure : $F = 1074$ ($P = 0,00$) Significatif

Sites d'essais : $F = 18,9$ ($P = 0,00$) Significatif

Interaction : $F = 3,9$ ($P = 0,00$) Significatif

C.V. = 13,3 %

Moyenne = 1065 Kg/ha

4.2.4 - Résultats sur les unités de sol

Il nous est apparu intéressant de présenter les résultats obtenus en fonction des unités de sols utilisées dans le dispositif et donc d'apprécier la valeur agronomique des différentes unités agro-pédologiques.

Les résultats de rendement et les caractéristiques des essais suivants les unités de sol (annexe 12) attirent les remarques suivantes (en raison du nombre peu élevé de répétitions dans chaque unité de sol, aucune analyse statistique ne valide ces résultats qui n'ont qu'une valeur indicative) :

- les niveaux de rendement (rendement moyens) nous apparaissent souvent très différents d'une unité à l'autre, ce qui laisse supposer des potentiels différents ; bien entendu, l'historique des parcelles d'expérimentation conditionne ce potentiel.

- l'efficacité de la fumure minérale vulgarisée composée d'"engrais coton" et d'urée de couverture est très variable.

Dans l'ensemble les sols "sansana" (Unité 1) présentent non seulement des potentiels élevés, mais assurent aussi une bonne valorisation de la fumure minérale. Leur teneur élevée en carbone et une meilleure richesse en bases échangeables expliquent en partie ce phénomène.

Les sols "handé" (Unité 3) présentent des résultats moins favorables : l'âge moyen des parcelles, plus élevé que dans les autres unités influence les résultats. La durée de culture avant la remise en jachère est toujours plus importante sur ces sols "handé".

Les sols "laboro" (Unité 2.0) et "laboro-bondé" (Unité 2.2) ont des propriétés voisines et il nous semble difficile de les différencier.

Comme nous l'avions indiqué en préliminaire, ces valeurs ne sont que des moyennes, et le dispositif ne permettait pas d'évaluer rigoureusement les unités de sol.

Toutefois par rapport aux résultats globaux nous pensons avoir apporté quelques compléments dans l'interprétation des résultats de rendement des différents essais. Une liaison avec les différentes unités de sols caractérisées antérieurement a ainsi été établie.

4.2.5 - Conclusion

Tous ces résultats montrent et valident la réponse positive des cultures du maïs et du cotonnier à l'application d'une fumure minérale à la dose recommandée dans les villages de DOHOUN et TIORO. Toutefois nous avons rencontré des situations culturelles différentes en raison de leur fertilité initiale et des systèmes de culture pratiqués : il s'avère donc nécessaire de conduire une interprétation plus fine, en essayant de caractériser chaque site à partir des informations disponibles.

Après avoir interprété plus en détail les résultats des analyses physico-chimiques et montré les propriétés des sols rencontrés, nous essayerons de les relier aux résultats obtenus dans les cultures en pots.

Pour expliquer la variabilité des rendements obtenus au champ, nous examinerons les propriétés de chacune des situations et l'itinéraire technique pratiqué par le paysan. Nous devons alors essayer de mettre en évidence les facteurs influençant les productions végétales et le maintien de fertilité.

5 - PARAMETRES INTERVENANT SUR LA PRODUCTIVITE ET SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

5.1 - Caractéristiques physico-chimiques des sols rencontrés dans les différentes situations de fertilité

En analysant plus en détail les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sol prélevés dans chacune des situations d'expérimentation, nous avons retrouvé les caractéristiques des sols ferrugineux tropicaux, décrits dans la littérature (BOYER 1982, DUCHAUFOR 1983...).

Tous les résultats des analyses de régression qui sont présentés dans ce chapitre ont pour caractéristiques :

- nombre d'individus : $n = 59$
(le même poids a été appliqué à chaque individu, même si le résultat a été obtenu à partir de plusieurs répétitions),
- r = coefficient de corrélation,
- signification : * à 5 %
 ** à 1 %

5.1.1. - Les phénomènes d'acidification

Contrairement à d'autres auteurs qui ont mis en évidence des phénomènes d'acidification (SEMENT 1980, SEDOGO 1981, PICHOT 1981, BERGER 1987) avec une baisse importante du pH et surtout une présence d'aluminium échangeable dans la solution du sol, nous n'avons jamais rencontré dans notre étude de telles situations. Dans les résultats obtenus nous n'avons pas observé de pH inférieur à 5,5 et les teneurs en aluminium échangeable étaient nulles dans tous les cas.

Tableau 22 : Valeurs des pH EAU des sols rencontrés dans le dispositif (valeurs moyennes et minimales).

	sol 1	sol 2.0	sol 2.2	sol 3
pH moyen	6,58	6,28	6,41	6,44
pH mini	6,00	5,50	6,10	5,50

La différence constatée avec les résultats de la bibliographie peut être expliquée par le fait que dans notre étude, les durées de culture sont plus courtes et les systèmes de culture moins "intensifs" qu'en milieu contrôlé. On peut aussi supposer que dans la situation foncière de la région, le retour à la jachère peut encore s'effectuer avant une dégradation et une acidification trop prononcée.

5.1.2. La matière organique

Le taux de carbone dans l'horizon 0-20 cm, horizon cultivé par l'agriculteur, varie suivant les sites des différentes unités de sol entre 0,34 % et 1,30 % ; les moyennes des quatre unités de sol figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 23 : Valeurs moyennes des taux d'argile (en %) de carbone (en %), d'azote (en o/oo) et de la CEC (en meq/100 gr.) par unité de sol.

	sol 1	sol 3	sol 2.0	sol 2.2
Argile	14,8	8,6	11,6	13,0
Carbone	0,97	0,61	0,67	0,81
Azote	0,89	0,55	0,61	0,74
CEC	6,49	3,50	5,10	8,06

Les taux de carbone rencontrés sont supérieurs à ceux cités par BERGER (1987) dans le cas des sols dégradés : dans ceux-ci, il avait trouvé des valeurs inférieures à 0,35 % (et surtout des pH inférieurs à 5 et des taux d'aluminium échangeable supérieurs à 0,25 meq/100 grammes).

Il existe une liaison entre le taux de carbone et le pourcentage d'argile ($r = 0,463 **$) : la matière organique est fortement dépendante de la teneur en éléments fins, comme cela avait été décrit par JONES (1975).

La relation entre taux de carbone et taux d'azote ($r = 0,984 **$) s'explique par une stabilité de la matière organique dans les différentes situations ; le rapport C/N est lui toujours voisin de 11 (figure 28).

Il existe une relation entre le taux de carbone et la teneur en calcium du complexe absorbant ($r = 0,68 **$), mais surtout une bonne liaison avec le rapport Ca/Mg ($r = 0,843 **$). Le complexe absorbant, la teneur en bases échangeables, le taux de saturation sont donc des facteurs fortement liés à la matière organique du sol.

Les fractions de l'azote organique, notamment l'azote hydrolysable distillable, sont elles corrélées à la teneur en argile (NHD : $r = 0,662 **$).

5.1.3. La capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique (CEC) des sols de la région est fortement liée à l'argile (principalement composée de kaolinite) et à la matière organique (JONES et WILD 1975, BOYER 1982). BOYER estime la CEC de la kaolinite est faible (5 à 10 meq/100 g) comparée à celle de la matière organique (100 à 200 meq/100 g.). A partir des analyses faites sur les 59 échantillons prélevés, nous obtenons la formule :

$$CEC = 6,28 \text{ Carbone \%} + 0,25 \text{ Argile \%} - 2,16$$

(avec un coefficient de régression multiple $r = 0,75 **$ et avec une prédominance du carbone)

La CEC moyenne des sols "sansana" (Unité 1) est élevée et confirme bien cette formule ; dans le cas des sols "handé" (Unité 3), cette formule explique bien les faibles valeurs de la CEC. En ce qui concerne les sols "laboro-bondé" (Unité 2.2), la CEC est beaucoup plus élevée malgré un taux de carbone moyen : la présence d'argiles différents (montmorillonites ?) dans cette unité située au pied de collines de roches vertes peut être une hypothèse, que malheureusement en absence de résultats sur la composition minéralogique des argiles, nous ne pouvons valider (tableau 23).

Nous avons aussi vérifié la liaison entre la CEC et la teneur en NHD (azote organique hydrolysable distillable) qu'avait mis en évidence HIEN (1990) : l'influence de la partie biologique de l'azote organique est vérifié dans notre dispositif ($r = 0,734 **$) (figure 29).

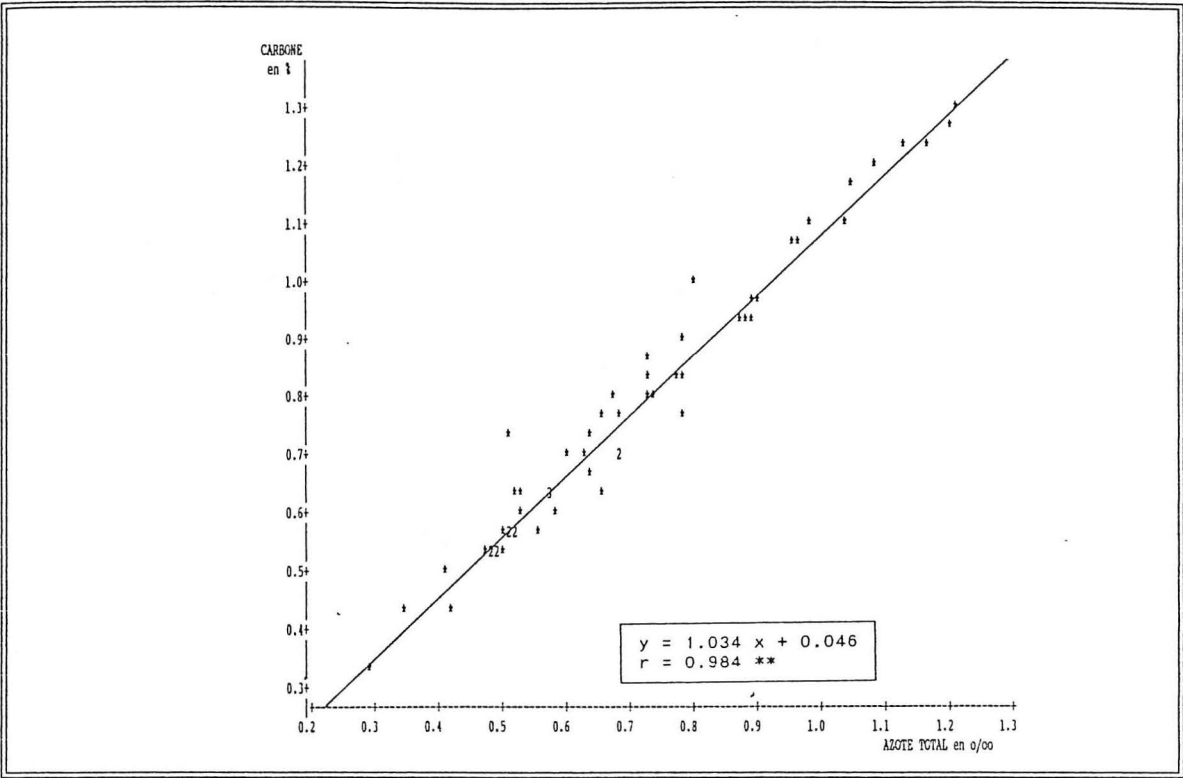


Figure 28 : Relation entre taux de carbone (o/o) et taux d'azote (o/oo) dans le sol des 59 sites d'expérimentation.

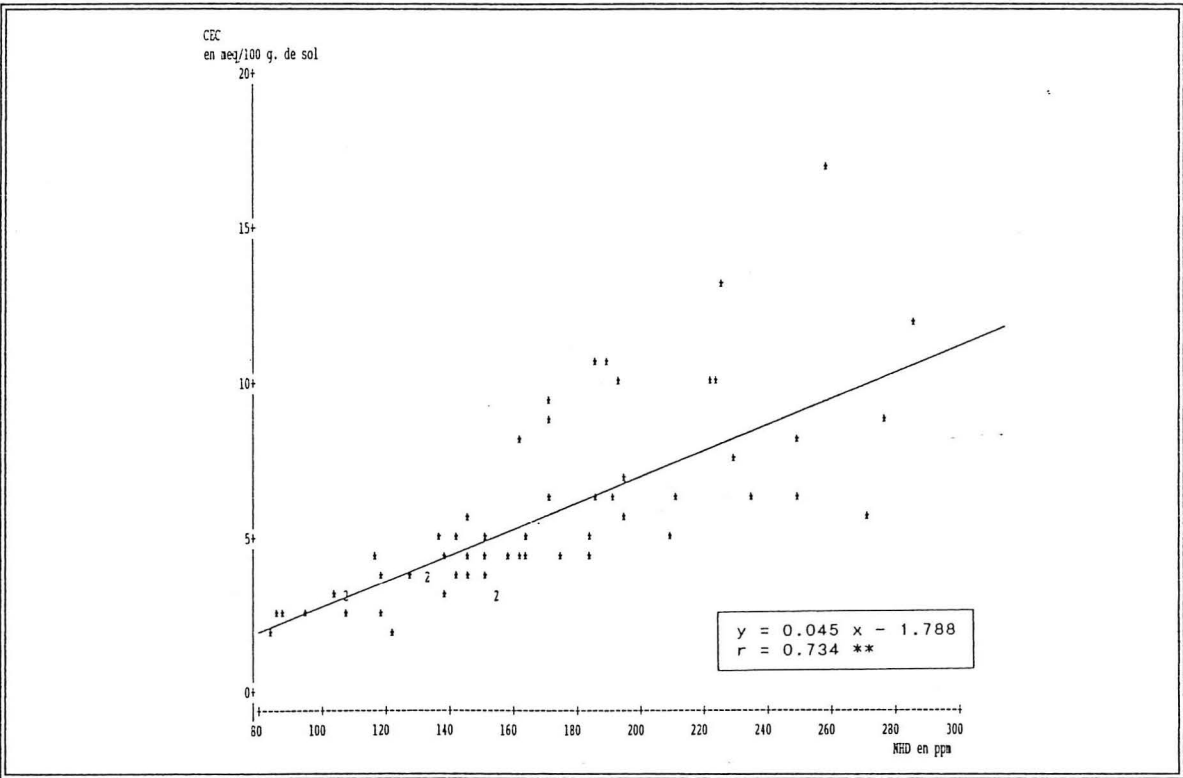


Figure 29 : Relation entre la capacité d'échange cationique (en meq/100 g. de sol) et l'azote organique hydrolysable distillable (NHD en ppm) dans le sol des 59 sites.

La valeur de la CEC est expliquée aussi en grande partie par la teneur en calcium ($r = 0,985 **$) et en magnésium ($r = 0,916 **$) de l'horizon concerné : l'occupation des sites d'échange relève principalement de ces deux éléments, et le taux de saturation est toujours supérieur à 90 pour-cent. Par contre aucune liaison n'a été mise en évidence avec le pH du sol, ce qui laisse supposer l'absence ou la faible quantité de charges variables.

5.1.4. Les sols "physiquement dégradés"

Le coefficient S_t défini par PIERI (1989) qui permet de classer les sols à partir de l'appréciation du maintien de l'édifice structural (en fonction du taux de matière organique et du taux d'éléments fins) pose quelques problèmes d'application dans les sols sableux. Toutefois nous l'avons calculé pour chacun des sites analysés.

Parmi les 59 sites d'expérimentation, deux seulement ont été classés comme "sols suffisamment pourvus en matière organique avec des propriétés structurales qui permettent une mise en culture sans risque immédiat de dégradation physique" (sites 50 et 24). Le taux d'argile dans l'horizon de surface de ces deux sites était très faible, respectivement de 7 et 6% : le rapport S_t est alors fortement influencé par la faible teneur en argile.

Nous avons recensé trente et une situations (environ un site sur deux) où le sol peut être qualifié de "sol physiquement dégradé". Celles-ci se rencontrent surtout dans l'unité de sol "laboro" (Unité 2.0) où 14 sites sur 16 sont concernés ; parmi les sites de l'unité "laboro-bondé" (Unité 2.2), 7 sites sur 14 sont considérés comme "dégradés".

Dans le tableau 24, en prenant en compte toutes les situations sans distinction des unités, les moyennes des paramètres analytiques des deux catégories de sol ne montrent pas de grande différence : seul le rapport S_t est de 3,68 pour les sols "dégradés", et de 6,60 pour les autres.

Tableau 24 : Paramètres analytiques (moyennes) en fonction des sols dégradés physiquement et les sols non dégradés actuellement.

	31 SOLS DEGRADEES	28 SOLS NON DEGRADEES
S _t %	3,68	6,60
ARGILE %	13.9	9.9
LIMON %	50.6	34.8
SABLE %	35.6	55.2
pH EAU	6.36	6.51
pH KCL	5.41	5.59
CARBONE %	0.73	0.80
AZOTE o/oo	0.67	0.72
CA meq/100	4.20	3.64
MG meq/100	1.53	1.12
K meq/100	0.19	0.24
CECmeq/100	6.14	5.19
P.OLSENppm	13	15
NTOT ppm	605	620
NHND/NHD	1.94	2.05
POT TEMOIN	0.38	0.39
POT FERTIL	0.62	0.60

Nous observons toutefois que la moyenne en éléments fins des sols "dégradés" est nettement supérieure : si nous utilisons ce coefficient, les sols à texture sableuse seront moins facilement qualifiés de "dégradés" par rapport aux sols à teneur en argile et limons fins plus élevée.

Le potentiel de ces sols exprimé par le biais d'une culture en micro-pots (voir chapitre suivant), ne montre pas de différence entre les deux catégories de sols.

Entre les différentes unités de sol, on peut signaler que les paramètres chimiques des sols "sansana" (Unité 1) sont fortement affectés en fonction de leur classement en "sols dégradés" ; les valeurs sont diminuées de :

- 20 % pour le taux de carbone (de 1,09 à 0,89),
- 30 % pour la teneur en calcium et potassium,
- 20 % pour la CEC,
- 25 % pour l'azote organique.

Au contraire dans les sols de l'unité "laboro" (Unité 2.2), nous observons une augmentation des teneurs pour certains paramètres dans le cas des "sols dégradés" :

- 35 % pour la teneur en calcium,
- 35 % pour la CEC.

Dans le cadre de notre étude, ce rapport S_t , qui n'a aucune liaison avec l'âge de la parcelle, est délicat d'utilisation et ne peut être relié d'une façon générale aux autres paramètres.

5.1.5. Evolution des paramètres en culture continue

Les différents auteurs que nous avons consultés considèrent que la mise en culture continue d'un sol sans restitution organique entraîne la diminution du taux de carbone dans le sol (par minéralisation de la matière organique), puis un appauvrissement en bases échangeables induisant une acidification et une occupation des sites du complexe absorbant par des ions aluminium.

Dans notre étude nous avons proposé d'interpréter les évolutions à partir d'un grand nombre de situations ayant des durées de culture continue différentes. Les systèmes de culture dans lesquels ces observations ont été réalisées ne comportent pas ou peu de restitutions organiques, et bénéficient généralement d'apports d'éléments fertilisants par les engrais complexe (N, P, K, S, B).

Dans le tableau 25 nous avons représenté les principales relations significatives que nous avons mises en évidence dans toutes les situations rencontrées ("TOT") entre l'âge de la parcelle et les différentes caractéristiques physico-chimiques. Les résultats partiels concernent différents sous-groupes que nous avons faits :

- sols dégradés physiquement ("SD" où $S_t < 5$)
- sols non dégradés ("SND" où $S_t > 5$)
- unités de sols vernaculaires ("S1", "S20", "S22", "S3")

Tableau 25 : Principales relations positives (+) ou négatives (-) significative (* ou **) entre l'âge de la parcelle et les caractéristiques physico-chimiques des sites d'essai.

ANNEE		TOT		SD	SND	S1	S20	S22	S3
	argile	-*							
	limon	-*		-*	-*				
	sable	+++		+++	++				
	carbone	-*		-*					
	azote	-*		-*					
	C/N								
	CEC	-*							
	nhd	---		---					
	nhnd	---		---					
	N total org.	-*		---					
	pH eau				++	++			
	pH KCL				+++				
	calcium			-*					
	magnésium	---		---	-*				
	potassium					++	-*	++	
	phosphore	+++			+++	++			
	N/P	---		---	---	---			-*
	Ca/Mg	+++			+++				
	Ca/K	---		-*					
	Mg/K	---		-*	-*	-*			---
	K/CEC	+++			++			++	

Les paramètres de l'analyse granulométrique présentent des relations avec la durée de culture continue : une tendance positive entre la durée de culture et le pourcentage de sables dans la texture de l'horizon de surface et à l'inverse, une tendance négative avec la teneur en éléments fins, argile et limons. Ces corrélations mettent en évidence une migration des éléments fins en profondeur (lessivage) et en surface vers les bas de toposéquence (érosion).

Ces résultats confirment la diminution significative du taux de carbone dans l'horizon cultivé qui va de pair avec le taux d'azote total : c'est donc une minéralisation normale de la matière organique évoluée (avec un C/N constant de 11). Les fractions de l'azote organique sont les variables dépendantes de l'âge de la parcelle.

En conséquence, la capacité d'échange cationique, fortement dépendante de la matière organique (et du taux d'argile) se trouve elle aussi significativement diminuée au cours des années.

En ce qui concerne les différentes unités de sol, les relations ne sont pas mises en évidence en raison d'effectifs trop restreints. Toutefois nous avons utilisé la technique de la "courbe-enveloppe" qui délimite graphiquement les valeurs maximales ; elle n'a pas de valeur statistique et n'est qu'indicative et graphique. La figure 30 représente le taux de carbone rencontré dans les différentes situations culturales en fonction de l'ancienneté de la mise en culture et par unité de sol. La courbe est limitée naturellement pour le nombre d'années depuis la mise en culture : nous n'avons pas pu disposer de parcelles expérimentales cultivées depuis plus de 18 ans. Dans les situations culturales paysannes, à un certain stade, la parcelle n'est plus cultivée et devient une jachère pour plusieurs années.

L'allure des "courbes-enveloppes" est spécifique à chaque unité de sol. Seuls quatre points sont très particuliers (sites 19, 7, 50, 30) et leur taux de carbone élevé est justifié par des apports de fumier quelques années avant notre intervention.

Pour les sols "sansana" (Unité 1), la teneur en carbone des parcelles "jeunes" est très élevée mais elle décroît très vite par la suite : nous supposons une richesse naturelle de ces sites en carbone lors de leur défrichement, mais aussi une décomposition rapide de la matière organique due à certaines conditions favorables du milieu comme le drainage et l'absence de phénomènes d'hydromorphie.

Pour les sols "handé" (Unité 3) la faible teneur en carbone des parcelles récentes et l'allure de la courbe expriment un faible potentiel de départ et une décomposition ralentie de la matière organique propre à cette unité. Les contraintes dues à l'hydromorphie sont certainement une cause de ce constat. Cela confirme la possibilité de cultiver ces parcelles à faible potentialité pendant des durées plus longues que dans les autres unités.

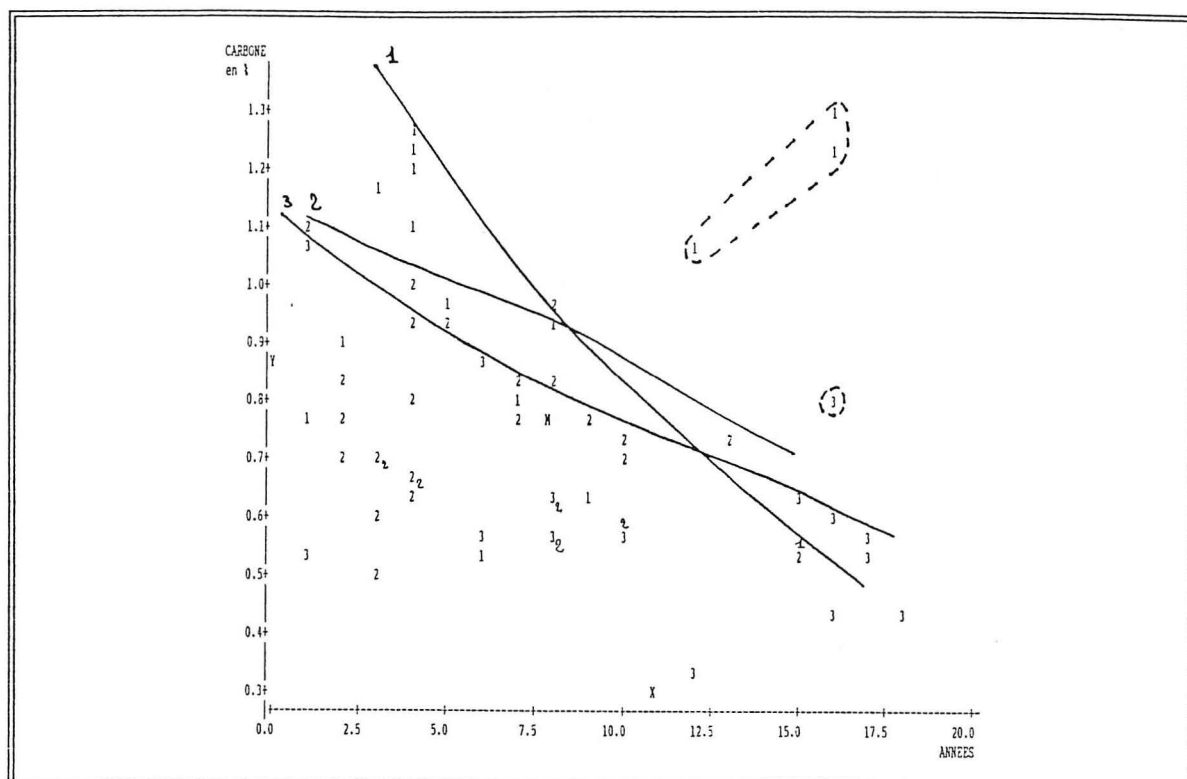


Figure 30 : Relations entre historique cultural des parcelles et taux de carbone dans le sol.

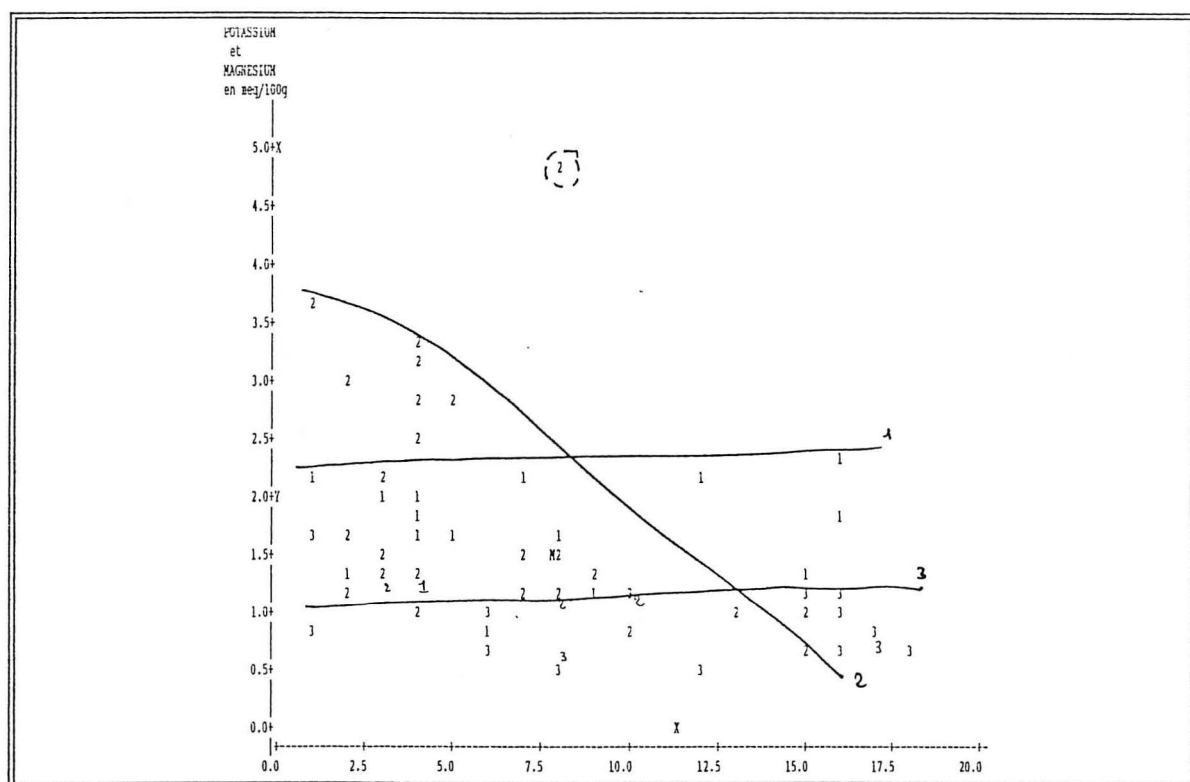


Figure 31 : Relation entre historique cultural des parcelles et la teneur en potassium et magnésium dans la solution du sol (en meq/100 g. de sol).

Pour l'unité "laboro", nous avons regroupé les sites "laboro" (Unité 2.0) et "laboro-bondé" (Unité 2.2) : il en résulte des teneurs en carbone moyennes au départ et une décomposition assez rapide.

Au niveau des différents éléments chimiques du complexe absorbant, nous constatons une relation négative entre la durée de culture et le taux de magnésium échangeable et une autre positive entre celle-ci et le rapport Ca/Mg : l'absence des éléments Ca et Mg dans les engrais minéraux utilisés par les agriculteurs entraîne certainement ces déséquilibres. Nous observons au contraire une liaison positive entre l'ancienneté et la teneur en phosphore assimilable : l'intensification et l'apport de fertilisants à forte teneur en acide phosphorique (40 % des unités fertilisantes de l'engrais coton sont des unités de P2O5) peuvent expliquer cette relation positive.

En ce qui concerne l'âge de la parcelle et la teneur en potassium échangeable, il existe des relations contraires entre les unités de sol et l'historique cultural :

- une relation positive dans les sols "sansana" (Unité 1), "laboro-bondé" (Unité 2.2) et les sols "handé" (Unité 3),
- relation négative dans les sols "laboro" (Unité 2.0).

Les "courbes-enveloppes" de la figure 31 nous représentent les teneurs en magnésium et en potassium des différentes parcelles en fonction de l'âge. L'allure des courbes de la teneur en magnésium ressemble fort à celle présentées précédemment pour le taux de carbone. Nous retrouvons aussi des cas particuliers, qui ont bénéficié d'apports de matière organique dans les années précédentes.

Le sol "handé" (Unité 3) pauvre en calcium et magnésium présente une décroissance très lente des teneurs en éléments échangeables : ceci laisse envisager des durées de culture plus longues sur cette unité.

5.1.6. Seuils et valeurs critiques

Certains auteurs ont définis à partir de leur travaux un des valeurs critiques des teneurs en certains éléments en deçà desquelles une agriculture intensive est difficilement envisageable. Dans la synthèse sur les sols ferralitiques à partir de leurs travaux, (Boyer 1982) l'auteur considère qu'un sol est pauvre en azote quand la teneur en azote total est inférieure à 0,75 o/oo : 66 % des sites sont dans ce cas ; les 33 % restant sont des sites comportant des sols qualifiés de "sols à fertilité moyenne en azote" (entre 0,75 et 1,25 %).

Le rapport N/P est à l'optimum entre 10 et 20 ; en dessous de cette valeur, il existe un fort besoin en azote, et au dessus nous sommes dans le cas de sols carencés en phosphore. Dans 93% des cas de notre dispositif, le rapport est supérieur à 20 : la majorité des sols dans lesquels nous avons conduit l'étude sont qualifiés de "carencés en phosphore".

Le même auteur considère qu'il y carence potassique quand le rapport K/CEC en % est inférieur à 1,5 dans des conditions similaires et d'un optimum pour la disponibilité en potassium avec un rapport compris entre 2 et 3. Dans notre dispositif, nous avons recensé trois sites (sites 23, 26, 32) qui présentent une carence en potassium ; dans les trois cas, nous sommes sur l'unité de sol "laboro-bondé" (Unité 2.2). En valeur absolue de la teneur en potassium, l'auteur cite un seuil critique à 0,10 meq/100g. de sol et une fertilité médiocre entre 0,1 et 0,2 meq/100g. : sept résultats parmi les 59 obtenus sont en dessous du seuil critique (sites 35, 17, 10, 26, 44, 24, 13).

En ce qui concerne la teneur en magnésium le seuil de carence est estimé à 0,17 meq/100g. de sol et la déficience entre 0,28 et 0,35 : aucune situation de notre dispositif ne satisfait à ces conditions. L'antagonisme magnésium-potassium est important sur le cotonnier : le rapport Mg/K doit être compris entre 3 et 25 pour éviter des problèmes d'assimilation de ces deux éléments. Six sites présentent des rapports Mg/K inférieurs à 3 (sites 50, 19, 47, 53, 42, 59) et deux des rapports supérieurs à 25 (sites 23 et 26).

Le coefficient S_p (SEMENT 1980) appliqué dans le dispositif de HOUNDE fait apparaître six situations culturelles avec des valeurs inférieures à 0,3 (sites 45, 18, 10, 24, 13, 53) : dans ces situations la croissance du cotonnier pourra être perturbée et l'efficacité des engrais réduite.

L'interprétation globale et par site des caractéristiques physico-chimiques obtenus par des analyses au laboratoire nous a permis de mettre en évidence des situations où certains problèmes physiques (risque de dégradation) ou chimiques (carences, déficiences) peuvent influencer les potentialités agronomiques et la production agricole. L'évolution de ces situations au cours du temps a été démontrée : au lieu d'un dispositif de longue durée, nous avons utilisé un dispositif annuel comportant des historiques différents. Nous avons pu confirmer certains résultats obtenus par des auteurs sur la région.

5.2 - Expression des potentialités des sols par les cultures en pots

Nous allons dans ce chapitre essayer de relier les paramètres analytiques avec les résultats obtenus à partir de l'expérimentation en micro-pots (matière sèche de fonio après 3 semaines de culture). Cette interprétation nous permettra d'approcher les potentialités des sols prélevés dans les différentes situations et la réponse de ces sols à l'apport d'éléments fertilisants.

5.2.1 - Le potentiel des sols

Le potentiel des sols rencontrés dans notre dispositif peut être apprécié à partir des rendements en matière sèche de fonio obtenus dans les pots n'ayant reçu aucun apport. De la même manière que nous avons interprété les principales relations significatives entre l'âge des parcelles et certains paramètres d'analyse, nous avons représenté dans le tableau 26 les relations entre les rendements témoins et ces mêmes paramètres.

Tableau 26 : Principales relations positives (+) ou négatives (-) significatives (* ou **) entre les rendements obtenus dans les pots témoins et les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol.

POT TEMOIN		TOT		SD	SND	S1	S20	S22	S3
	année	-*			-*			++	
	argile					-*			
	sable					++			
	limon 2					---	---	+++	
	Ph KCl							++	
	carbone	++							
	azote	+++		++			+++		
	C/N	-*		-*			-*		
	S _t					++			
	nhd	+++			++		+++		++
	nhnd	+++			++		+++		++
	ntotal	++					++		++
	mg	++					++		
	potassium						++		
	Ca/Mg	-*			---		-*		
	potFM	+++		+++	+++	+++	+++		
	reppot	---		---	-*			---	-*

Globalement, il existe une tendance négative entre les rendements obtenus en pot et l'âge de la parcelle ; le potentiel de production diminue avec les années de culture. Dans le cas des sols "laboro-bondé" (Unité 2.2) la tendance est au positive mais peu significative : ces sols sont rencontrés dans les nouveaux quartiers de culture et l'âge des parcelles est caractérisé par une moyenne (4 ans) et un écart type (1,6) faibles.

Avec les résultats d'analyse de laboratoire, il convient de signaler la bonne relation entre rendement en pot et les valeurs de l'azote total, et de l'azote organique (figure 32). GASSER (1961) avait dans son expérimentation en pots avec du ray-grass mis en évidence une corrélation entre azote du sol et rendement dans les pots témoins. La teneur en azote est dépendante de la teneur en matière organique du sol : ce sont les facteurs qui évoluent à la baisse avec la mise en culture et la durée de culture continue (voir chapitre 5.1.).

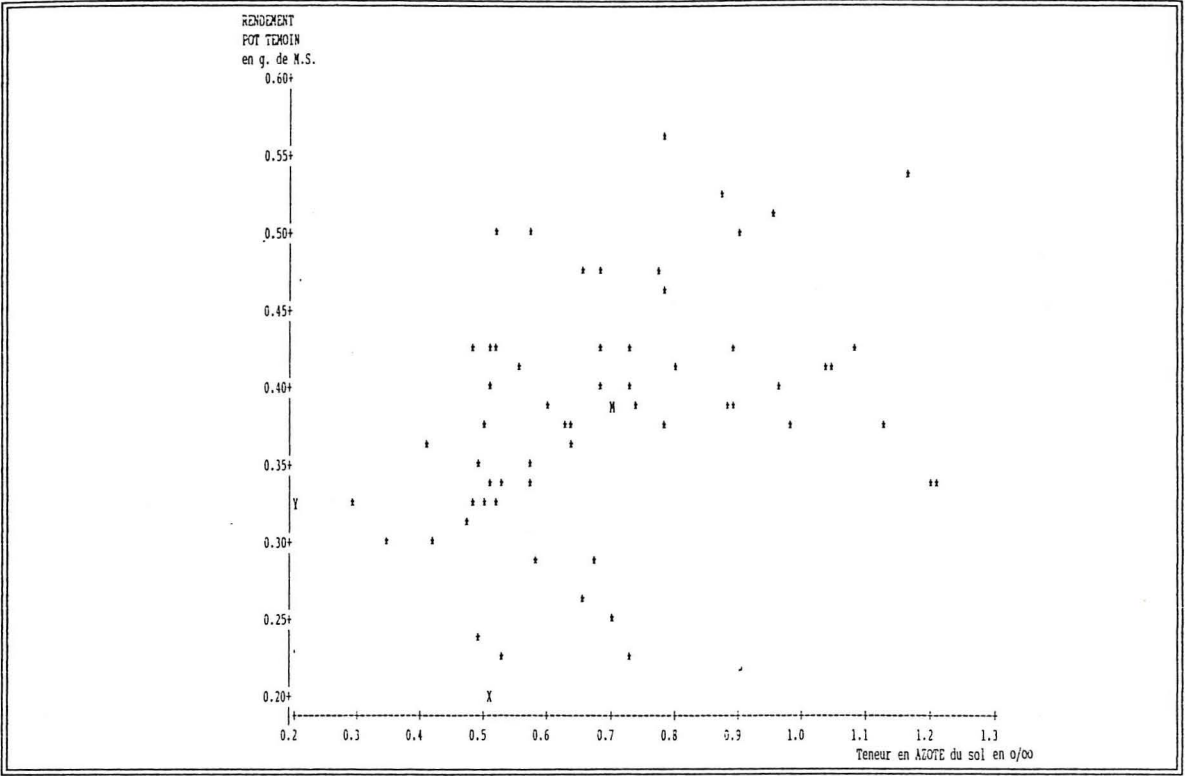


Figure 32 : Relation entre les rendements obtenus dans les pots témoins et le taux d'azote dans le sol.

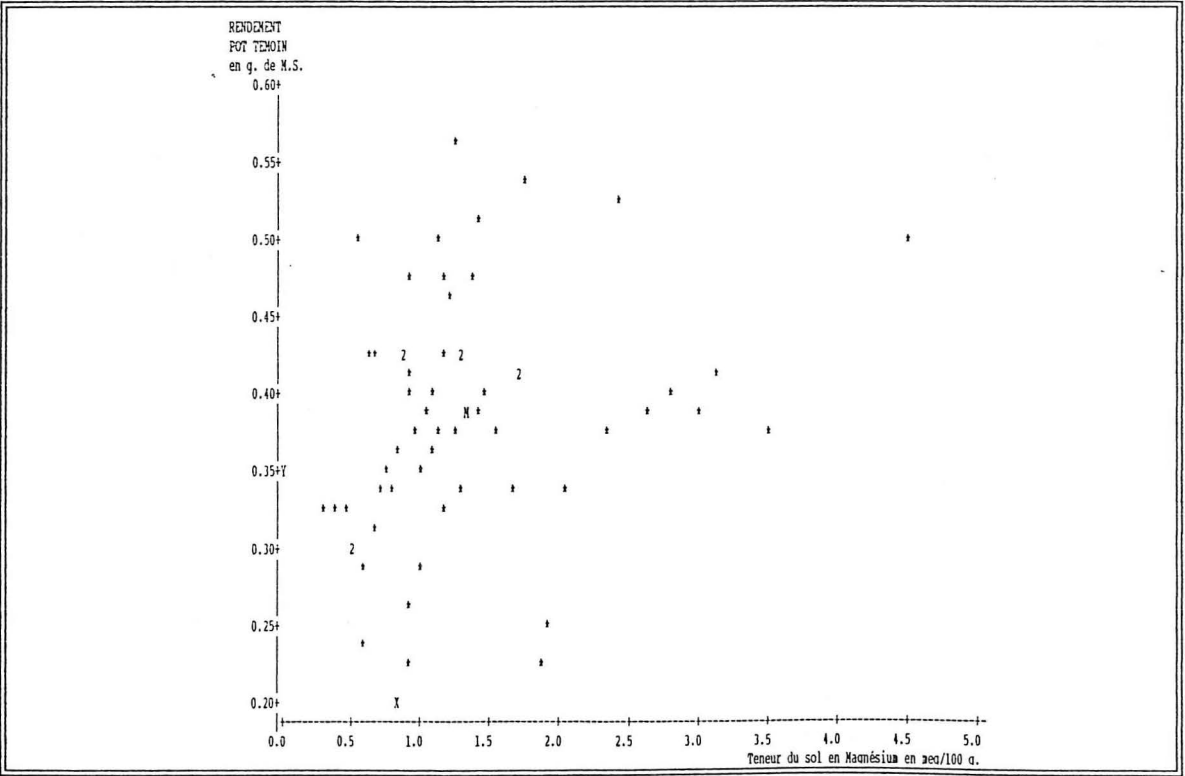


Figure 33 : Relation entre les rendements obtenus dans les pots témoins et la teneur en magnésium du sol.

La teneur en magnésium de l'horizon cultivé, elle aussi influencée par l'historique, est en relation positive avec les rendements en pots, et le rapport Ca/Mg en relation négative (figure 33).

Dans les différentes unités de sol, nous pouvons remarquer que pour les sols "laboro" (Unité 2.0) et "handé" (Unité 3) les liaisons entre les rendements en pot et les caractéristiques de l'azote sont significatives. Pour les sols "sansana" (Unité 1) et "laboro-bondé" (Unité 2.2) ce sont les caractéristiques granulométriques qui sont en relation avec les rendements en fonio (limons grossiers : $r = 0,719 **$ dans les sols "sansana" (Unité 1) ; $r = 0,724 **$ dans les sols "laboro-bondé" (Unité 2.2)).

Les facteurs les plus explicatifs des rendements en fonio obtenus dans les pots témoins ont été regroupés dans une analyse de régression qui a donné la formule suivante :

$$\text{Rendement en POT} = 0,14 \text{ Azote(o/oo)} - 0,02 \text{ Ca/Mg} + 0,365$$

(coefficient de régression multiple $r = 0,47 **$ avec prédominance du facteur azote)

Les rendements obtenus s'échelonnent de 0,22 grammes de matière sèche de fonio pour un micro-pot (contenant 190 grammes de terre) à 0,56 grammes. Nous avons utilisé les paramètres de position que sont la médiane, le premier et le troisième quartiles pour déterminer des classes :

Q1 = 0,34 g.

Q2 = 0,39 g. (médiane)

Q3 = 0,43 g.

A partir de ces trois valeurs, nous avons établi quatre classes de rendement et observé les moyennes des différents paramètres analytiques dans celles-ci (tableau 27).

Tableau 27 : Moyennes des paramètres chimiques dans les quatre classes de rendement définies par les pots témoins.

	Classe 1 $R \leq 0,33$ $n = 14$ 57% sols 3	Classe 2 $0,34 < R < 0,38$ $n = 15$ 45% sols 2.2	Classe 3 $0,39 < R < 0,42$ $n = 15$	Classe 4 $R > 0,43$ $n = 15$
Année	11,8	7,3	5,7	6,6
Sables %	52,1	40,1	42,4	45,5
pH	6,57	6,40	6,33	6,40
Carbone %	0,60	0,80	0,83	0,83
Azote ‰	0,53	0,72	0,76	0,77
Magnésium	0,83	1,39	1,64	1,45
Potassium	0,19	0,19	0,22	0,27
CEC	3,81	6,46	6,32	6,04
S_t	4,89	4,59	4,88	5,89

Dans la classe des rendements les plus faibles, classe 1, nous rencontrons surtout des sols "handé" (Unité 3) et des sols à durée de culture importante (moyenne de 12 ans). Les moyennes des valeurs en carbone et azote sont très faibles : la valeur de l'azote total du sol est en dessous de la valeur critique de 0,75 o/oo citée par BOYER (1982). La capacité d'échange est elle très faible (3,81 meq/100g.) ainsi que la teneur en magnésium. Les sols classés dans ce groupe ont donc un potentiel limité, mis en évidence par la culture en pots et expliqué par des teneurs faibles en certains éléments.

Dans la classe 4, qui regroupe les sols qui ont donné les meilleurs rendements en pots nous observons des parcelles plus jeunes et avec des propriétés chimiques meilleures : la teneur en azote et carbone, et la capacité d'échange sont plus élevées. Le coefficient S_t (PIERI 1989a) étant supérieur à 5, les sols de cette classe peuvent être qualifiés de "non dégradés physiquement" (la valeur moyenne de 5,89 est artificiellement élevée en raison d'un point particulier ; en enlevant ce point la moyenne devient 5,2).

L'évolution des paramètres de la classe des sols à potentiel élevé (classe 4) vers celle des sols à faible potentiel (classe 1) met en évidence :

- l'importance de l'âge de la parcelle
- la diminution des taux de carbone et d'azote
- l'accroissement des teneurs en magnésium et potassium

A partir des résultats obtenus dans les pots n'ayant reçu aucun apport, nous avons pu apprécier le potentiel des sols rencontrés dans notre dispositif et essayer de les classer en quatre catégories.

Dans le paragraphe 5.1.6. précédent, nous avons évoqués d'après la littérature un certain nombre de valeurs critiques pour certains éléments chimiques ou rapports. Les résultats site par site figurent dans le tableau 28 et sont soulignés lorsqu'ils dépassent ces valeurs. Les sites présentant des résultats analytiques inférieurs à ces seuils font généralement partie des classes 1 et 2 établies à partir des potentiels en pots.

Tableau 28 : Rendements obtenus dans les pots en fonction des seuils et valeurs critiques des caractéristiques physico-chimiques des sites d'expérimentation.

N°	So1	Année	Azote	N/P	K2O	K/CEC	Mg/K	S _b	S _t	POT	REPOT	% rep
Classe 1												
9	1.0	7	<u>0.73</u>	<u>55</u>	0.23	3.87	8.22	0.72	<u>3.01</u>	0.22	0.22	100
54	1.0	9	<u>0.53</u>	<u>41</u>	0.19	4.37	4.74	0.63	<u>4.06</u>	0.23	0.28	113
14	3.0	17	<u>0.49</u>	<u>31</u>	0.19	5.58	3.05	0.88	<u>6.03</u>	0.24	0.36	150
16	1.0	1	<u>0.70</u>	<u>94</u>	0.19	3.20	10.00	0.85	<u>3.34</u>	0.25	0.18	72
34	2.0	7	<u>0.65</u>	<u>38</u>	0.19	3.62	4.79	0.85	<u>3.53</u>	0.26	0.10	38
42	3.0	16	<u>0.58</u>	<u>21</u>	0.41	9.05	1.44	1.15	<u>5.84</u>	0.29	0.31	107
30	3.0	16	<u>0.67</u>	<u>37</u>	0.24	3.92	4.08	0.97	<u>3.76</u>	0.29	0.37	128
43	3.0	18	<u>0.42</u>	<u>17</u>	0.14	5.56	3.43	0.42	<u>5.15</u>	0.30	0.29	97
59	3.0	16	<u>0.35</u>	<u>12</u>	0.17	6.61	2.82	0.51	<u>6.83</u>	0.30	0.21	70
10	2.0	15	<u>0.47</u>	<u>41</u>	0.09	3.32	7.22	0.27	<u>3.59</u>	0.31	0.20	65
57	1.0	15	<u>0.48</u>	<u>50</u>	0.21	5.40	5.48	0.47	<u>3.46</u>	0.32	0.31	97
13	3.0	8	<u>0.50</u>	<u>49</u>	0.09	3.56	5.00	0.30	<u>5.06</u>	0.33	0.12	36
24	3.0	8	<u>0.52</u>	<u>60</u>	0.09	4.97	4.00	0.22	<u>9.22</u>	0.33	0.29	88
53	3.0	12	<u>0.29</u>	<u>20</u>	0.21	11.93	1.48	0.27	<u>5.61</u>	0.33	0.14	42
Classe 2												
19	1.0	16	1.21	<u>49</u>	0.59	5.02	<u>2.83</u>	4.66	7.40	0.34	0.21	62
6	2.0	3	<u>0.53</u>	<u>66</u>	0.15	1.78	<u>13.73</u>	1.60	<u>2.62</u>	0.34	0.36	106
38	1.0	4	1.20	<u>87</u>	0.30	3.66	4.37	1.91	<u>6.05</u>	0.34	0.28	82
28	2.0	10	<u>0.51</u>	<u>54</u>	0.16	5.16	4.44	0.40	<u>5.61</u>	0.34	0.15	44
4	2.2	4	<u>0.57</u>	<u>53</u>	0.23	4.33	3.39	1.59	<u>6.10</u>	0.34	0.30	88
44	3.0	1	<u>0.49</u>	<u>93</u>	0.09	3.33	8.56	0.39	<u>5.47</u>	0.35	0.16	46
35	2.0	8	<u>0.57</u>	<u>49</u>	0.09	2.16	11.33	0.38	<u>2.52</u>	0.35	0.31	89
48	2.0	13	<u>0.64</u>	<u>43</u>	0.14	3.93	5.93	0.39	<u>4.39</u>	0.36	0.24	67
2	2.0	3	<u>0.41</u>	<u>44</u>	0.16	4.12	6.81	0.38	<u>2.51</u>	0.36	0.27	75
17	2.0	10	<u>0.63</u>	<u>56</u>	0.08	1.77	13.88	0.58	<u>3.59</u>	0.38	0.19	50
41	2.2	4	<u>0.64</u>	<u>68</u>	0.16	1.67	14.50	2.23	<u>3.12</u>	0.38	0.32	84
7	1.0	16	1.13	<u>41</u>	0.24	2.45	6.38	3.15	<u>7.58</u>	0.38	0.15	39
23	2.2	1	0.98	<u>133</u>	0.13	0.99	<u>26.85</u>	4.47	<u>4.94</u>	0.38	0.26	68
18	2.0	15	<u>0.50</u>	<u>42</u>	0.13	3.69	7.31	0.28	<u>2.48</u>	0.38	0.24	63
52	1.0	2	0.78	<u>110</u>	0.14	2.67	9.07	0.75	<u>4.47</u>	0.38	0.31	82
Classe 3												
37	2.2	4	<u>0.74</u>	<u>77</u>	0.29	2.75	9.03	3.09	<u>4.07</u>	0.39	0.24	62
49	2.0	3	<u>0.60</u>	<u>64</u>	0.21	5.08	4.95	0.45	<u>3.44</u>	0.39	0.28	67
1	1.0	8	0.88	<u>62</u>	0.23	3.75	6.09	1.06	<u>4.83</u>	0.39	0.28	67
15	2.2	4	0.89	<u>89</u>	0.31	3.13	9.71	2.28	<u>4.08</u>	0.39	0.33	85
21	2.2	2	<u>0.73</u>	<u>84</u>	0.15	3.40	7.13	0.64	<u>5.46</u>	0.40	0.29	73
11	2.0	10	<u>0.51</u>	<u>40</u>	0.20	4.94	4.65	0.54	<u>3.58</u>	0.40	0.17	42
32	2.2	2	<u>0.68</u>	<u>94</u>	0.12	1.44	23.42	2.86	<u>5.46</u>	0.40	0.25	62
27	3.0	1	0.96	<u>66</u>	0.24	3.60	6.08	1.86	<u>8.11</u>	0.40	0.21	53
26	2.2	4	0.80	<u>90</u>	0.08	0.76	<u>39.00</u>	3.09	<u>5.52</u>	0.41	0.19	46
29	1.0	3	1.05	<u>81</u>	0.23	3.06	7.43	1.39	<u>5.44</u>	0.41	0.17	41
45	2.0	8	<u>0.55</u>	<u>53</u>	0.22	6.57	4.09	0.29	<u>2.91</u>	0.41	0.28	68
46	1.0	4	1.04	<u>117</u>	0.26	4.28	6.54	0.96	<u>5.07</u>	0.41	0.23	56
12	3.0	17	<u>0.51</u>	<u>33</u>	0.16	4.53	3.94	0.48	<u>4.57</u>	0.42	0.20	48
33	1.0	5	0.89	<u>44</u>	0.31	4.81	4.16	1.62	<u>7.02</u>	0.42	0.18	43
5	3.0	10	<u>0.52</u>	<u>31</u>	0.25	7.96	3.44	0.32	<u>3.62</u>	0.42	0.29	69
Classe 4												
25	1.0	4	1.08	<u>92</u>	0.12	2.23	10.75	1.01	7.87	0.43	0.13	30
51	1.0	6	<u>0.48</u>	<u>81</u>	0.17	5.36	3.82	0.82	<u>6.40</u>	0.43	0.17	40
22	3.0	6	<u>0.73</u>	<u>42</u>	0.14	2.74	6.29	1.20	<u>7.53</u>	0.43	0.13	30
55	2.2	3	<u>0.68</u>	<u>22</u>	0.28	5.16	4.18	0.75	<u>3.27</u>	0.43	0.19	44
56	2.0	9	<u>0.78</u>	<u>28</u>	0.19	3.50	6.32	0.79	<u>4.05</u>	0.46	0.26	57
58	3.0	15	<u>0.65</u>	<u>91</u>	0.27	6.65	3.37	0.71	<u>5.44</u>	0.47	0.13	28
47	2.0	2	<u>0.68</u>	<u>41</u>	0.46	10.77	2.52	0.92	<u>6.06</u>	0.48	0.28	58
36	2.0	8	0.77	<u>43</u>	0.13	3.12	10.82	0.44	<u>3.55</u>	0.48	0.12	25
40	2.0	8	0.90	<u>54</u>	0.34	1.99	13.28	6.19	<u>3.18</u>	0.50	0.10	20
3	3.0	6	<u>0.52</u>	<u>18</u>	0.12	4.05	4.58	0.48	<u>6.52</u>	0.50	0.22	44
8	2.2	4	<u>0.57</u>	<u>62</u>	0.12	2.80	9.50	0.69	<u>4.10</u>	0.50	0.16	32
50	1.0	12	0.95	<u>49</u>	0.79	15.49	<u>1.81</u>	2.26	<u>15.34</u>	0.51	0.23	45
31	2.2	5	0.87	<u>44</u>	0.40	3.95	6.08	2.87	<u>4.69</u>	0.52	0.17	33
39	1.0	4	1.16	<u>90</u>	0.16	1.82	10.94	1.61	<u>4.80</u>	0.54	0.08	15
20	2.2	7	0.78	<u>60</u>	0.32	6.17	3.91	1.04	<u>5.51</u>	0.56	0.16	29

5.2.2. La réponse à la fertilisation

La différence entre les rendements obtenus dans les pots ayant reçu une fertilisation minérale et les pots témoins représente la réponse à la fertilisation, et donc l'expression des potentialités de ces sols en présence d'apports en éléments minéraux (N, P, K, Mg, S).

Nous avons mis en évidence une bonne relation entre les rendements obtenus dans les pots témoins et les pots fertilisés ($r = 0,60 **$) : l'expérimentation permet donc de conclure sur un effet positif constant de la fertilisation minérale dans ces sols. Par contre la réponse à la fertilisation (différence entre le rendement "témoin" et le rendement "fertilisé") est reliée négativement aux rendements témoins : si le potentiel du sol est élevé, la réponse à l'engrais en valeur absolue est donc plus faible que dans les sols à faible potentiel. Nous le confirmons en utilisant les quatre classes établies à partir des potentiels des 59 sites (tableau 29).

Tableau 29 : Moyennes des résultats des cultures en pots (en mg. par micro-pots) dans les quatre classes de potentiel définies.

	Classe 1 R <= 0,33 n = 14 57% sols 3	Classe 2 0,34 < R < 0,38 n = 15 45% sols 2.2	Classe 3 0,39 < R < 0,42 n = 15	Classe 4 R > 0,43 n = 15
Années	11,8	7,3	5,7	6,6
Témoin	0,29	0,36	0,40	0,48
Fertil.	0,53	0,61	0,64	0,65
Réponse %	88 %	69 %	60 %	35 %

La figure 21 représente graphiquement les résultats des pots témoins et des réponses aux apports d'éléments fertilisants, par ordre croissant des résultats obtenus sur le témoin dans chaque unité de sol. Les potentiels sont différents, en fonction des paramètres chimiques évoqués ci-dessus, et la capacité du sol de valoriser un apport d'éléments chimiques supplémentaires varie aussi en fonction de ces mêmes paramètres.

Dans les sols de la classe 1, que l'on peut supposer "appauvris" par plusieurs années de culture continue (moyenne de 12 ans) sans restitutions organiques mais avec des apports d'engrais minéraux, la réponse à la fertilisation est conséquente : elle est en moyenne de 80 % du témoin, et peut dépasser 100 % dans certains cas.

La classe 4 représente les sols qui possèdent le potentiel de production le plus élevé du dispositif. La réponse moyenne à l'apport d'éléments fertilisants est plus faible en valeur absolue (0,17 g.) et beaucoup plus faible encore en valeur relative par rapport au témoin : elle oscille entre 15 et 60 % suivant les sites.

Cette expérimentation en serre qui est simple à mettre en oeuvre et qui limite les sources de variation, permet d'apprécier le potentiel de l'horizon cultivé des sols de notre dispositif. Nous avons montré que les potentialités de ces sols sont très variables, mais qu'elles ne sont pas négligeables. Aucune situation catastrophique d'un point de vue chimique n'a été mise en évidence, ce qui confirme l'interprétation des analyses de laboratoire.

Nous avons montré la relation entre la teneur en azote (fortement liée à celle en carbone) du sol et le rendement en pot, ce qui indique bien l'importance de ce critère dans l'appréciation de la fertilité. Il existe donc une liaison entre le potentiel exprimé dans les pots et l'évolution des propriétés chimiques dans le cadre d'une culture continue.

La réponse à la fertilisation minérale est fonction aussi du potentiel du sol et aucune situation critique, comme par exemple une absence de réponse, n'a été décelée. Cette conclusion permettra d'orienter les conseils d'intensification de l'agriculture vers une utilisation possible et sans risque de la fertilisation minérale dans ces sols, afin d'accroître la production.

A partir de l'expression des potentialités obtenue en milieu contrôlée au moyen de cultures en pots, nous approcherons dans le chapitre suivant l'interprétation des résultats obtenus en condition réelle de culture.

5.3 - Détermination des principales contraintes

5.3.1 - Relation avec les cultures en pots

Dans les différentes approches des problèmes de fertilité que décrit SANCHEZ (1976), il préconise l'utilisation des cultures en pots afin de déterminer les niveaux critiques : le contrôle de la majorité des paramètres de la culture est possible. Dans le cadre des expérimentations au champ, l'auteur reconnaît que les rendements dépendent d'une centaine de variables allant des propriétés du sol au climat en passant par l'itinéraire technique pratiqué.

Pour les cultures (cotonnier et maïs) pratiquées en 1988, nous avons essayé de chercher des relations entre les résultats obtenus en pots et les rendements obtenus dans les parcelles expérimentales.

En ce qui concerne les rendements obtenus en coton dans les parcelles, il existe une relation entre le résultat obtenu dans les pots fertilisés et le rendement en coton du témoin au champ, ainsi qu'avec le rendement du traitement NPK au champ. Pour le maïs aucune relation significative n'a été mise en évidence.

Dans la même démarche, nous avons tenté de mettre en évidence des relations entre les propriétés physico-chimiques du sol et les résultats de rendement des plantes cultivées sur ces sols : aucune liaison significative n'a pu être déterminée. L'échantillon dont nous disposions (35 résultats en cotonnier, 23 en maïs) est trop faible pour réaliser ces interprétations. Cela confirme bien aussi le nombre important de facteurs influençant le rendement, qui n'est que l'expression d'une culture dans un milieu donné.

En raison de la grande variabilité des rendements obtenus en coton ou en maïs nous avons conduit une interprétation des résultats de chaque site. Dans les tableaux 30 et 31, figurent les résultats de rendement de l'année 1988, première année de l'essai. Nous avons choisi les rendements des traitements "NPK", avec fertilisation minérale, considérant ainsi que la mise à la disposition de la plante des éléments N, P, K, S et B n'était plus un facteur limitant.

Parmi les facteurs limitants des rendements dans nos conditions d'expérimentation nous pouvons retenir : :

- le bilan hydrique de la culture
- la densité du peuplement végétal.
- la fertilité chimique (richesse en bases, en carbone)
- les attaques parasitaires
- l'enherbement

Ces facteurs limitants seront bien entendu influencés par l'historique parcellaire (ancienneté de la parcelle et pratiques culturales antérieures), l'itinéraire technique mis en oeuvre et les conditions climatiques de l'année.

Malheureusement, dans notre travail de terrain il n'a pas été possible de mesurer certains de ces paramètres : par exemple l'enherbement et les attaques parasitaires n'ont pas fait l'objet d'observations. Dans le dispositif, aucune situation critique avec dégâts importants n'a été recensée ; la pratique quasi-systématique des sarclages et des traitements phyto-sanitaires était assurée dans les exploitations choisies. En conséquence, dans notre interprétation nous supposons que ces facteurs n'ont pas eu de répercussion sur les rendements obtenus.

5.3.2 - Profondeur de sol et bilan hydrique

Il nous a semblé important dans un premier temps de vérifier la satisfaction des besoins en eau des cultures conduites dans les essais. Nous disposons des données agro-météorologiques (évaporation bac classe A moyenne et pluviométrie de l'année), des dates de semis et des durées de cycle végétatif. A la fin des expérimentations au champ, après la campagne agricole, nous avons effectué sur chaque site des profils culturaux : à partir de la colonisation racinaire et de la teneur en éléments fins des différents horizons, nous avons estimé la réserve en eau totale de chaque profil. Lors du descriptif de ces profils culturaux nous avons décrit les phénomènes d'engorgement et de présence de nappe d'eau temporaire.

L'engorgement temporaire du profil est caractérisé par des taches ferro-manganiques dans les différents horizons : il gêne dans la plupart des cas la colonisation des horizons profonds par les racines. Le phénomène de nappe, consécutif à un mauvais drainage des sols ou à la présence d'horizons indurés sera un facteur limitant l'enracinement. A l'inverse, il sera un facteur positif pour améliorer le bilan hydrique en fin de cycle : il s'agit alors d'un phénomène d'"assistance sur nappe" de la culture.

Deux types de facteurs vont donc influencer la satisfaction des besoins en eau de la plante :

1) des facteurs consécutifs à l'itinéraire technique pratiqué : dans les essais, toutes les parcelles ont été labourées en 1988, et entretenues correctement. Les dates de semis vont pouvoir expliquer certaines différences, car elles s'échelonnent :

- pour le cotonnier, du 1er juin au 7 juillet
- pour le maïs, du 6 juin au 11 juillet

2) des facteurs liés aux propriétés du sol :

- la profondeur de l'enracinement
- la réserve utile en eau du sol prospectée par les racines : la réserve utile peut varier de 15 mm (site 39 sur l'unité "sansana" (Unité 1)) à 72 mm (site 15 sur "laboro-bondé" (Unité 2.2)),
- les phénomènes de battement de nappe et d'engorgement du profil.

Les tableaux 30 et 31 représentent les éléments de chaque site pour le calcul des bilans hydriques des cultures. Nous en déduisons :

1) Dans le cas des unités de sol "sansana" (Unité 1), la réserve en eau utile, de faible valeur, est conditionnée par l'épaisseur de sol et par la teneur en gravillons. Peu de phénomènes d'engorgement sont observés dans ces sols : un bon drainage interne et une situation en haut de topo-séquence peuvent expliquer cette situation.

Tableau 30 : Eléments du calcul des bilans hydriques du maïs dans les différents sites d'essais en 1988 (Rendement du traitement "NPK" en Kg/ha).

N°	Date semis	Sol	RU en mm	Facteur limitant	Horizon de profondeur	ETR Cy en mm	RDT NPK Kg/ha
9	JUIN 28	1	48		NAPPE	364	2664
54	JUIL 4	1	48		NAPPE	355	3029
50	JUIN 6	1	61			393	4799
7	JUIN 20	1	30 EPAISSEUR			356	4806
51	JUIN 7	1	30 EPAISSEUR		CUIRASSE	368	5138
57	JUIN 19	1	22 EPAISSEUR SOL		COMPACT	336	5320
1	JUIN 6	1	14 EPAISSEUR SOL		CUIRASSE	314	6278
47	JUIN 18	2	43			372	3099
10	JUIN 8	2	40		NAPPE	351	3534
2	JUIN 20	2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT			356	3594
6	JUIN 18	2	72 ENGORGEMENT		NAPPE	383	3620
56	JUIN 13	2	21 EPAISSEUR SOL		CUIRASSE	348	4766
11	JUIN 22	2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT		COMPACT	348	4940
48	JUIN 15	2	39 ENGORGEMENT		NAPPE	381	5182
55	JUIN 20	2.2	45		COMPACT	368	2995
4	JUIN 22	2.2	45		COMPACT	367	4349
8	JUIN 12	2.2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT			366	5763
58	JUIN 8	3	37		COMPACT	376	1656
5	JUIL 11	3	30 ENGORGEMENT		CARAPACE	307	1805
12	JUIN 10	3	32 EPAISSEUR			358	2820
59	JUIN 20	3	56		COMPACT	378	3307
3	JUIN 18	3	24 EPAISSEUR		CUIRASSE	345	3404
53	JUIN 20	3	46		NAPPE	368	3654

Tableau 31 : Eléments du calcul des bilans hydriques du cotonnier dans les différents sites d'essais en 1988 (Rendement du traitement "NPK" en Kg/ha).

N°	Date semis	Sol	RU en mm	Facteur limitant	Horizon de profondeur	ETR Cy en mm	RDT NPK Kg/ha
39	20 JUIN	1	15 EPAISSEUR ENGORGEMENT		CARAPACE	343	521
46	8 JUIN	1	58 ENGORGEMENT		NAPPE	526	820
16	7 JUIL	1	44		COMPACT	364	1047
19	7 JUIN	1	30 EPAISSEUR			459	1094
25	3 JUIN	1	36 EPAISSEUR SOL			491	1222
29	9 JUIN	1	26 ENGORGEMENT		COMPACT	423	1224
38	22 JUIN	1	26		COMPACT	377	1719
52	8 JUIN	1	22			440	2592
33	15 JUIN	1	62		ALTERITE	486	2604
18	7 JUIL	2	40		NAPPE		0
28	6 JUIN	2	20 EPAISSEUR ENGORGEMENT		CARAPACE	431	859
34	15 JUIN	2	42 ENGORGEMENT		NAPPE	460	1198
35	14 JUIN	2	21 EPAISSEUR SOL		CUIRASSE	406	1302
17	10 JUIN	2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT		COMPACT	447	1607
45	10 JUIN	2	39 ENGORGEMENT		NAPPE	483	1719
36	15 JUIN	2	40 ENGORGEMENT		NAPPE	460	1901
49	12 JUIN	2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT		COMPACT	442	1919
40	1 JUIN	2	34 EPAISSEUR SOL		COMPACT	484	2109
23	15 JUIN	2.2	20 ENGORGEMENT		COMPACT	398	833
37	17 JUIN	2.2	16 EPAISSEUR ENGORGEMENT		NAPPE	364	1576
32	7 JUIN	2.2	32 ENGORGEMENT		NAPPE	473	1615
21	6 JUIN	2.2	28 EPAISSEUR ENGORGEMENT			464	1701
31	4 JUIN	2.2	70 ENGORGEMENT		NAPPE	553	1771
41	10 JUIN	2.2	32 ENGORGEMENT	NAPPE	ALTERITE	459	1797
26	8 JUIN	2.2	48 ENGORGEMENT		ALTERITE	505	1979
20	6 JUIN	2.2	45		COMPACT	511	2083
15	16 JUIN	2.2	72 ENGORGEMENT		NAPPE	498	2201
27	25 JUIN	3	47			416	690
43	1 JUIN	3	27		NAPPE	363	1042
13	27 JUIN	3	18 EPAISSEUR		COMPACT	332	1414
14	1 JUIN	3	32 EPAISSEUR			490	1458
24	22 JUIN	3	18 EPAISSEUR SOL		COMPACT	350	1615
44	1 JUIN	3	35 ENGORGEMENT		CUIRASSE	484	1641
22	8 JUIN	3	24 EPAISSEUR		CUIRASSE	440	1654
30	5 JUIN	3	56		COMPACT	533	1823
42	12 JUIN	3	38 EPAISSEUR SOL			458	1901

2) Les sites des unités "laboro" (Unité 2.0) et "laboro-bondé" (Unité 2.2) sont caractérisés par des phénomènes d'engorgement et des horizons sous-jacents compactés ou cuirassés : la libre circulation de l'eau dans le profil est perturbée.

3) Les situations de l'unité "handé" (Unité 3) sont tributaires très souvent d'une faible épaisseur de sol, mais dans l'ensemble sont bien drainés.

La figure 34 représente par la méthode de la "courbe enveloppe" les rendements en coton des traitements "NPK" en 1988 en fonction de la date (rang du jour dans l'année) à laquelle le semis a été effectué. La courbe délimite graphiquement les rendements maxima qui ont subi le minimum de contraintes, sachant que le facteur limitant "fertilité chimique" est levé dès l'instant où le traitement fertilisé est pris en compte. Les situations que nous étudions sont hétérogènes et les facteurs limitants multiples. En deçà de cette "courbe enveloppe", les rendements obtenus sont pénalisés par une ou plusieurs contraintes (mesurée comme la profondeur d'enracinement, ou non contrôlée comme l'enherbement). Une analyse statistique classique (comme la régression) de ces points ne donne aucun résultat ; la "courbe enveloppe" n'a pas de valeur statistique, elle n'est qu'indicative et graphique.

La première "courbe enveloppe" (rendement maximum) s'infléchit très nettement pour les semis tardifs, nous laissant supposer que sans contrainte particulière, un semis précoce donne de meilleurs résultats en 1988. La deuxième courbe délimite les rendements maxima des sols à faible profondeur : inférieure d'environ 0,5 T/ha par rapport à la courbe précédente, elle présente la même tendance et renforce notre interprétation. Dans les situations où l'engorgement a été diagnostiqué les rendements sont apparus limités.

Pour le maïs (figure 35), la "courbe enveloppe" des rendements maxima présente encore une pente plus forte, les rendements s'échelonnant entre 6 T/ha et 1 T/ha : les préjudices de rendement dus à un semis tardif seront plus importants dans le cas d'une culture de maïs.

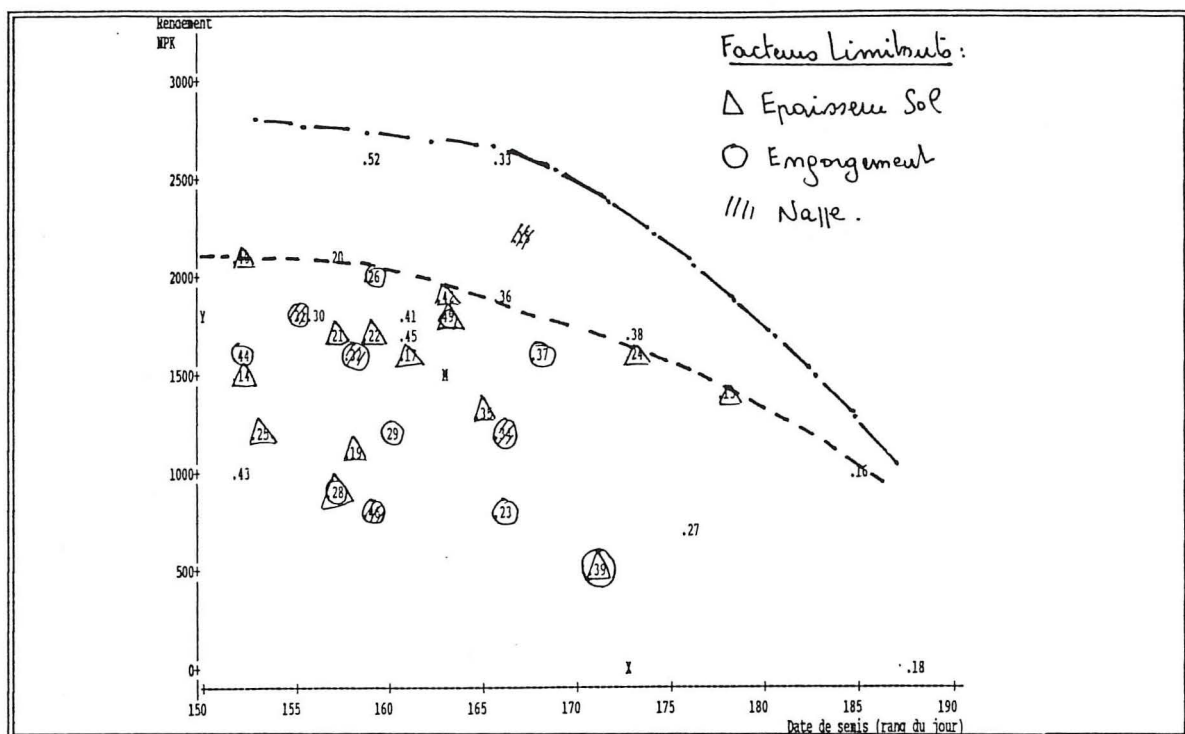


Figure 34 : Rendements en coton en fonction de la date de semis et des contraintes sol (1988).

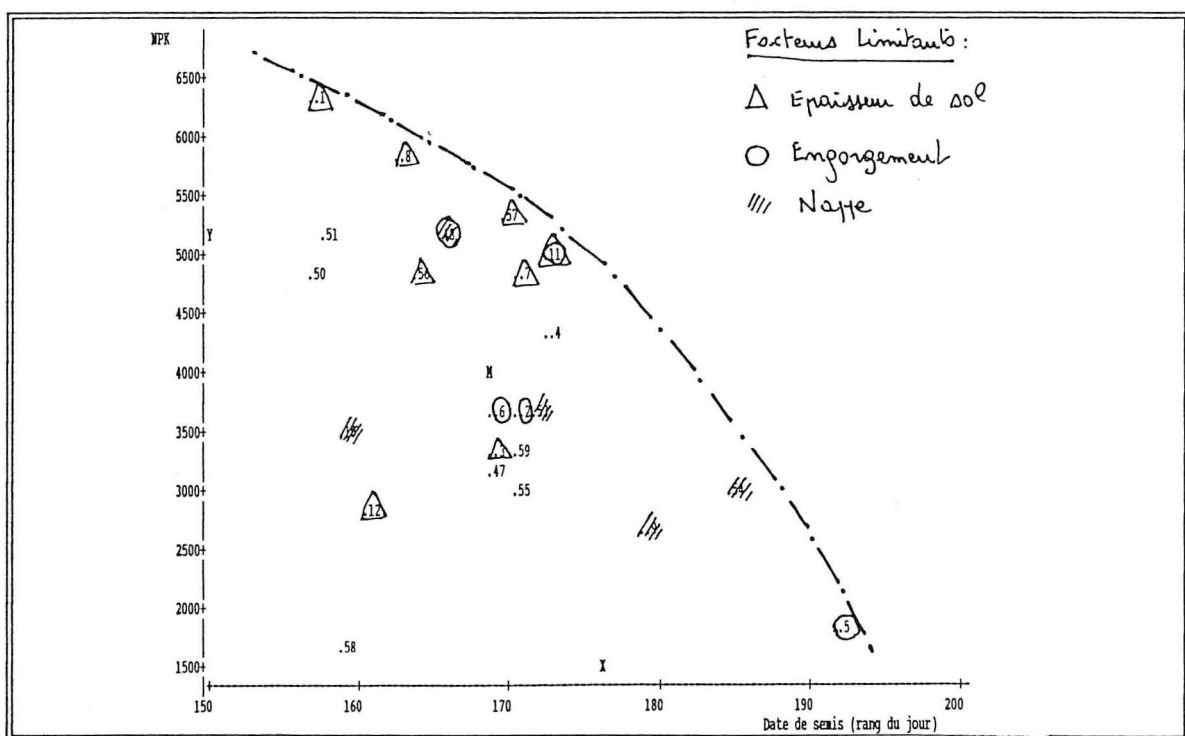


Figure 35 : Rendements en maïs en fonction de la date de semis et des contraintes sol (1988).

La méthode de bilan hydrique que nous avons utilisée est celle développée par le logiciel "PROBE"(CIRAD MONTPELLIER) et elle intègre :

- la pluviométrie journalière de BEREBA en 1988
- l'évaporation du bac classe A de BOROMO (moyenne des dix dernières années)
- les dates de semis
- la réserve en eau utile estimée dans le profil
- les coefficients culturaux (issus de la bibliographie)
- la croissance racinaire (estimée dans notre cas)

Pour illustrer cette méthode avec nos résultats, nous présentons dans la figure 36 quelques courbes de satisfaction des besoins en eau des cultures (en pourcentage) de situations caractéristiques :

- même date de semis mais réserves utiles différentes
- dates de semis différentes mais mêmes réserves utiles.

* La courbe 1 montre que pour une date de semis précoce (début juin) une faible réserve en eau utile peut être une des causes des chutes de rendement : de 1,77 T/ha à 0,86 T/ha. Les aléas de la saison des pluies 1988 n'ont pu être tamponnés qu'à partir d'une réserve utile importante (> 50 mm).

* La courbe 2 montre que dans le cas de faibles réserves utiles (20 mm environ), l'influence des dates de semis est importante et que le degré de satisfaction des besoins hydriques très variable ; les dates de semis précoces (début juin) n'ont pas toujours été favorables en 1988. L'explication des différences de rendement est rendue alors plus délicate.

* La courbe 3 par contre nous indique que dans le cas de situations où le sol permet un bon stockage de l'eau (environ 60 mm), la satisfaction des besoins est presque toujours assurée, sauf en fin de cycle.

* La courbe 4 représentant la satisfaction des besoins en eau d'une culture de maïs à trois dates de semis dans des situations peu favorables ($RU < 30$ mm), nous permet d'expliquer en grande partie la variation de 1 à 3 des rendements (5,7 T/ha à 1,8 T/ha).

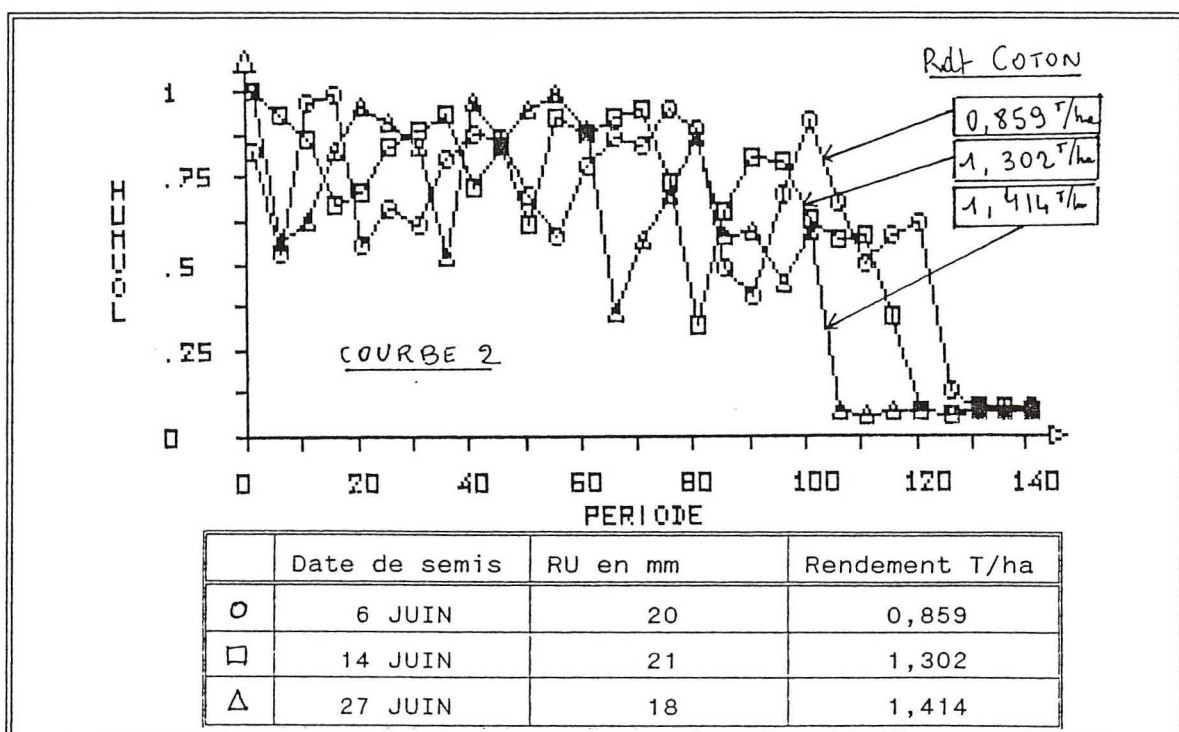
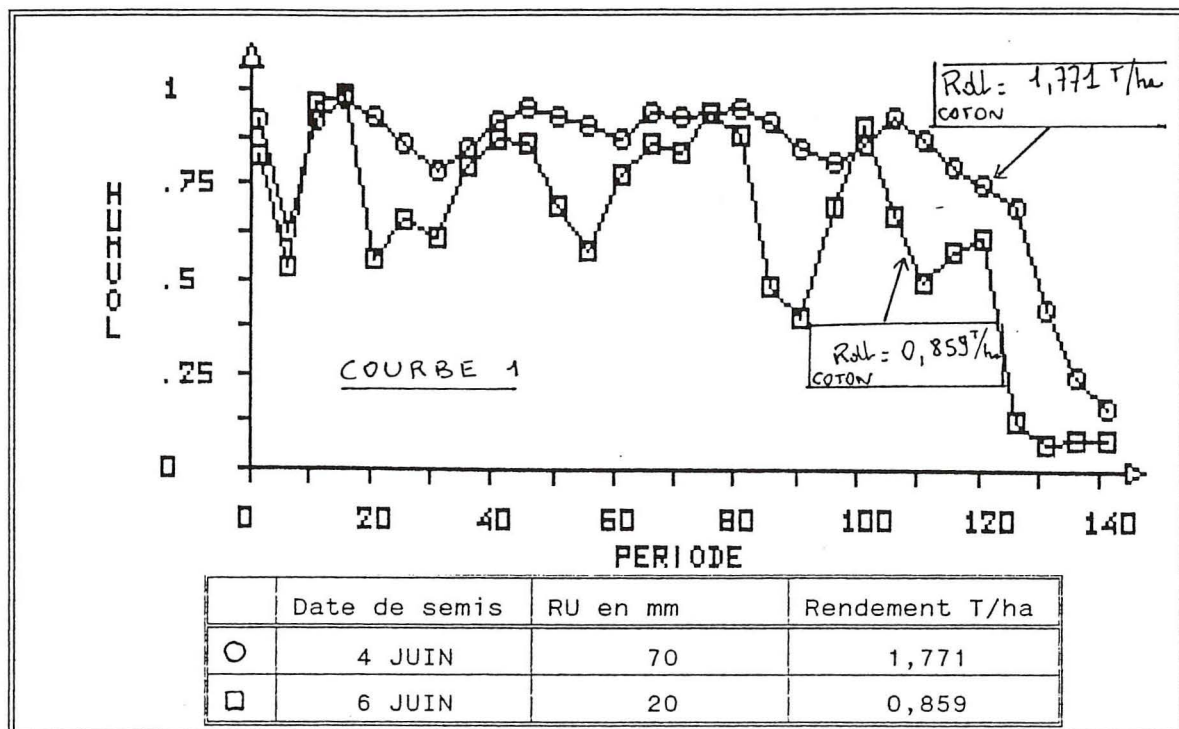


Figure 36 : Courbes de satisfaction des besoins en eau des cultures dans différentes situations (1988).

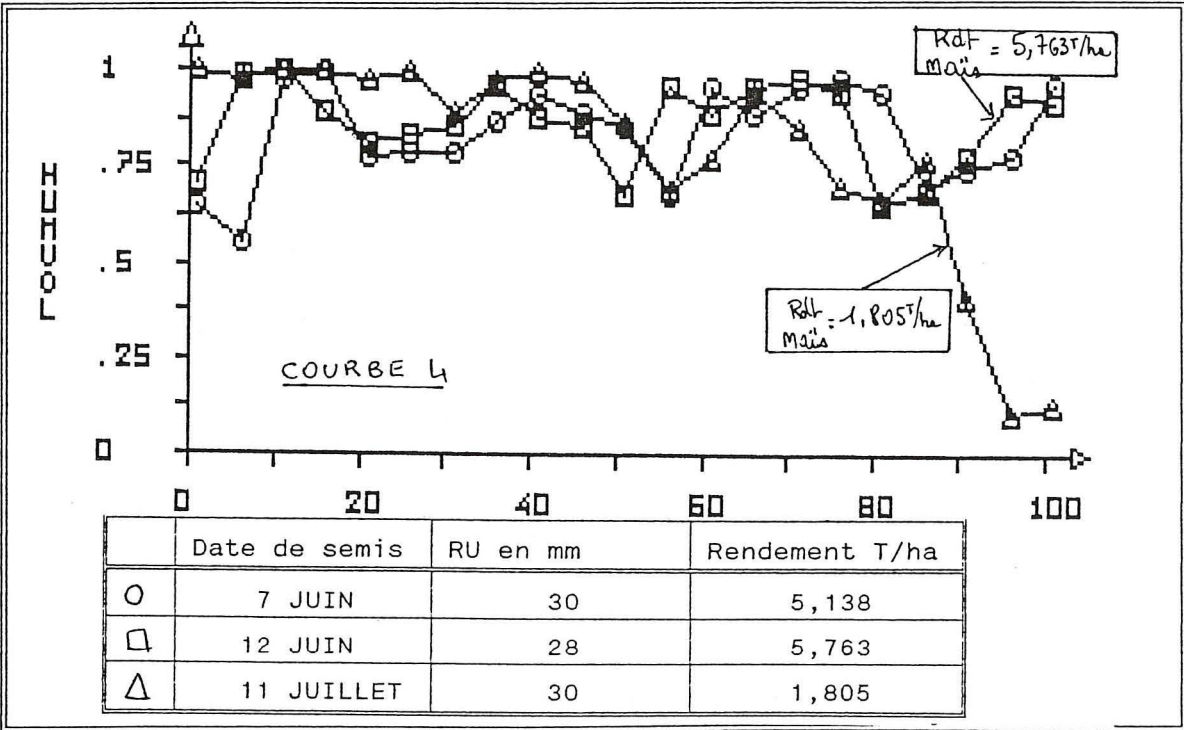
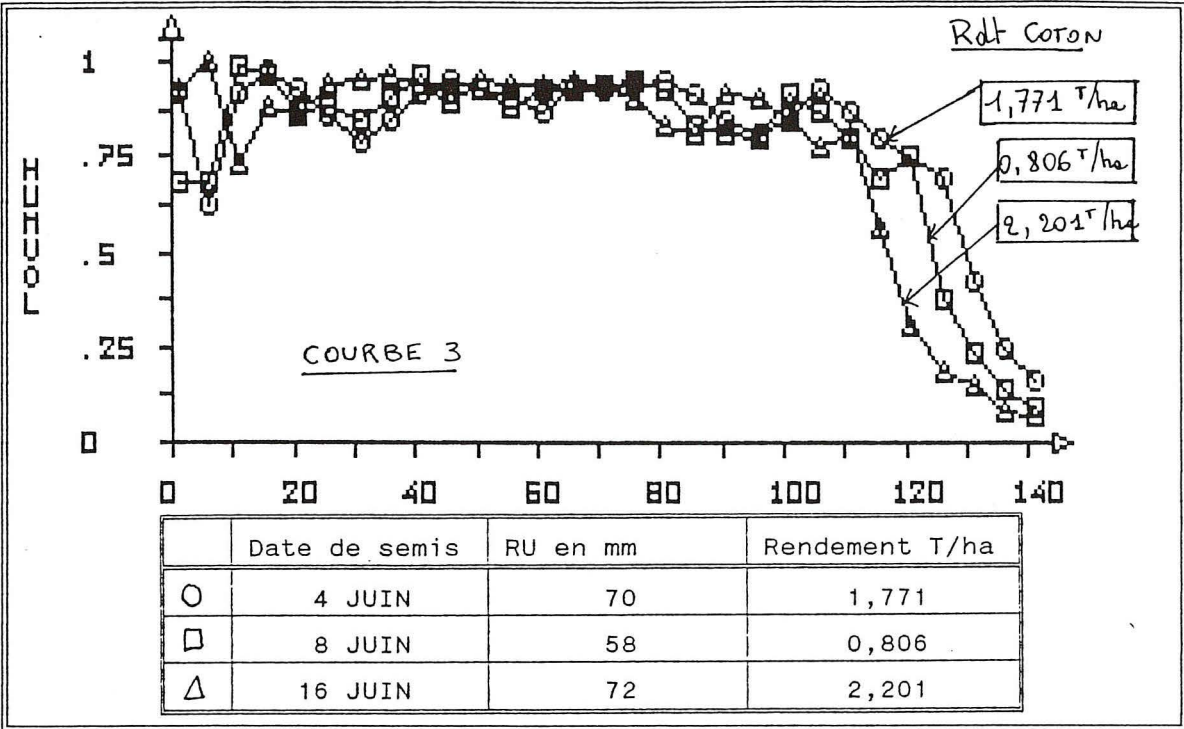


Figure 36 : Courbes de satisfaction des besoins en eau des cultures dans différentes situations (1988).

Par la méthode du bilan hydrique, nous avons calculé l'ETR (évapotranspiration réelle) des plantes cultivées : ce résultat exprime le total de l'eau utilisée par la plante pendant son cycle. Toutefois, il ne tient pas compte des conséquences sur le rendement des accidents climatiques pendant les périodes critiques : par exemple pour le maïs un manque d'eau à la période de la floraison mâle peut avoir des conséquences graves sur le rendement final.

Dans le cas de la culture du cotonnier en 1988, les rendements peuvent être reliés aux valeurs de l'ETR Cycle calculée (traitement témoin : $r = 0,459 **$) (figure 37) ; au contraire aucune liaison n'a été mise en évidence dans le cas de la culture de maïs.

Dans les différentes unités de sol, nous avons rencontré des contraintes influençant la satisfaction des besoins en eau des cultures pratiquées, maïs et cotonnier. La profondeur de l'enracinement, limitée très souvent par un horizon induré et par les phénomènes de nappe (engorgement) sont des caractères propres au milieu physique. Seule une modification des techniques culturales comme la préparation du sol, le billonnage, ou l'ajustement de la date de semis permettrait une amélioration du bilan hydrique. Les agriculteurs, dans le cas d'un début de saison des pluies régulier, appliquent une date de semis précoce pour leur culture : avec succès le plus souvent. L'amélioration des techniques de préparation du sol et leur adaptation aux différentes situations rencontrées sont à notre avis les voies dans lesquelles les travaux devront s'orienter : à ce jour la technique du labour à plat est la seule utilisée et recommandée.

5.3.3 - Densité du peuplement végétal

Nous avons contrôlé la densité du peuplement végétal à la récolte sur les traitements "NPK". Bien que celle-ci puisse être inférieure à la densité de semis en cas d'accident comme la fonte des semis ou les attaques parasitaires, nous supposons que les deux densités sont semblables.

La liaison "rendement-densité" est mise en évidence par la méthode de la "courbe enveloppe" (figure 38).

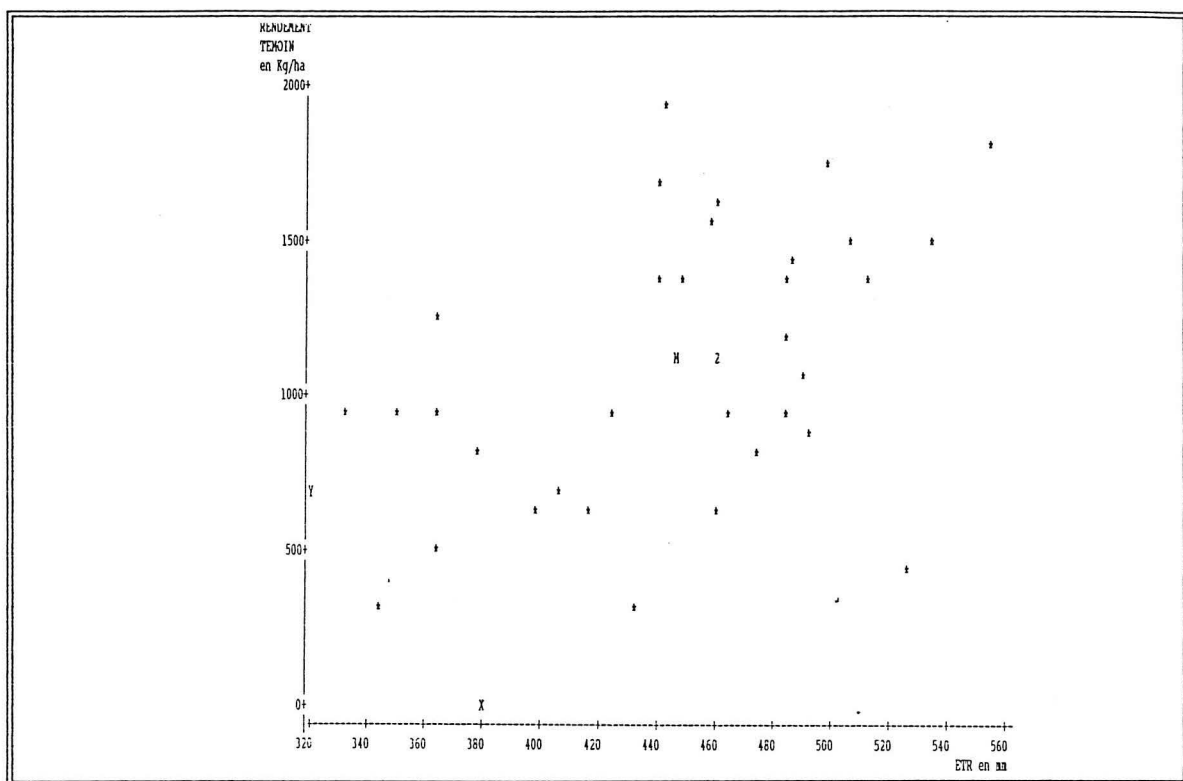


Figure 37 : Relation entre ETR Cycle du cotonnier et les rendements obtenus.

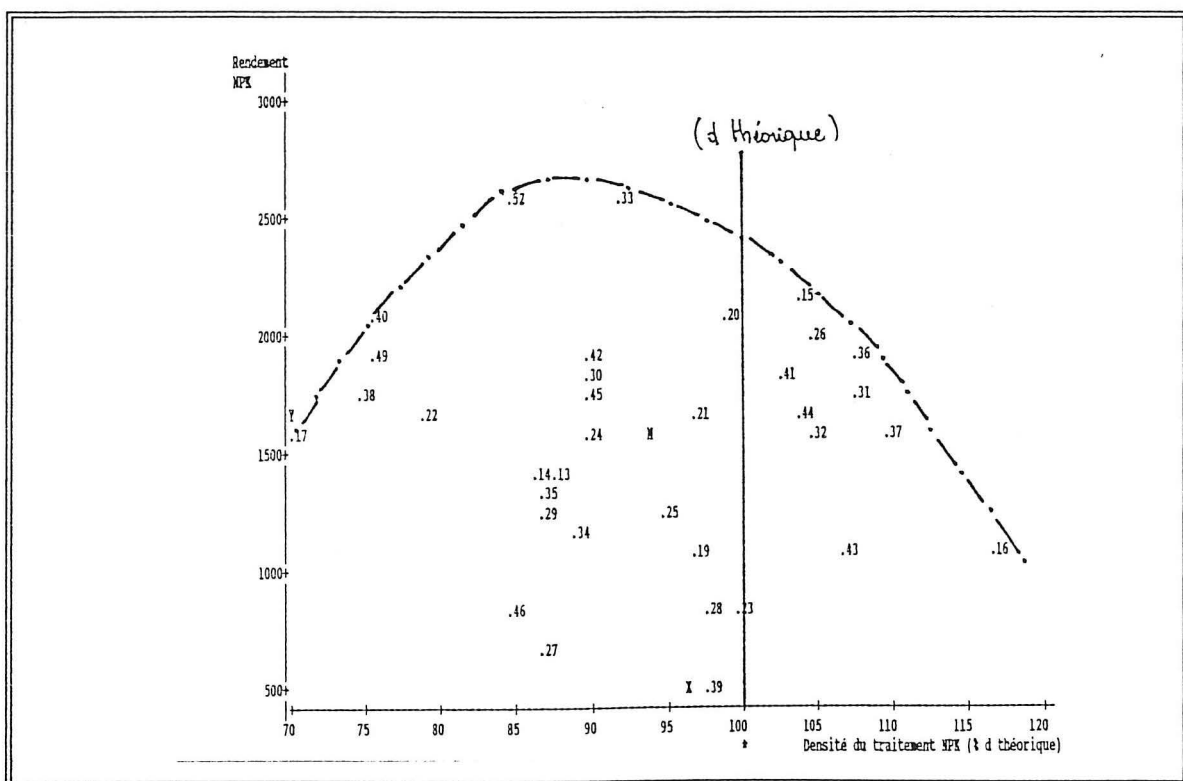


Figure 38 : Relation entre rendements obtenus et densités dans les sites cultivés en cotonnier en 1988.

Le maximum de cette courbe se situe à environ 90% de la densité recommandée par la vulgarisation qui est de 62500 pieds à l'hectare. L'allure de cette courbe est intéressante : elle montre des variations entre les densités de semis pratiquées sur les différentes unités de sol : nous observons une légère "sur-densité" sur les sols de l'unité "laboro-bondé" (Unité 2.2) dans 8 cas sur 9 qui assurent des rendements élevés. Ces sites bénéficient d'un historique cultural jeune (en moyenne 3 à 4 années depuis la mise en culture) et les agriculteurs augmentent volontairement le peuplement végétal en vue d'accroître leurs rendements. Il existe une relation dans les pratiques culturales entre ancienneté de la parcelle et densité de semis pratiqué.

Il est intéressant de noter que les faibles densités (75% de la densité recommandée) permettent dans certaines situations des rendements en coton proches de la moyenne. La décision appartient à l'agriculteur qui ajuste l'itinéraire technique au milieu.

5.3.4 - La fertilité chimique

Comme nous l'avons expliqué précédemment, parmi les résultats d'analyses chimiques effectuées au laboratoire sur les échantillons de sol (horizon 0-20 cm), le taux de carbone est une donnée qui évolue avec la mise en culture et les pratiques culturales successives.

Dans la figure 39, nous avons représenté la liaison "taux de carbone-rendement en coton", mais aussi le regroupement par unité de sol afin de montrer l'influence de facteur sur les rendements obtenus en coton. L'allure de la "courbe-enveloppe" montre une pente assez forte des rendements jusqu'à un taux de carbone de 0,6 % , puis un palier jusqu'aux valeurs maximales.

La représentation des grandes unités de sol nous montre des disparités : en effet la teneur en carbone des sols "sansana" (Unité 1) est individualisée dans 6 cas sur 9, et présente des valeurs élevées (1,2 %). Les points représentant les sites 52 et 33 sont isolés.

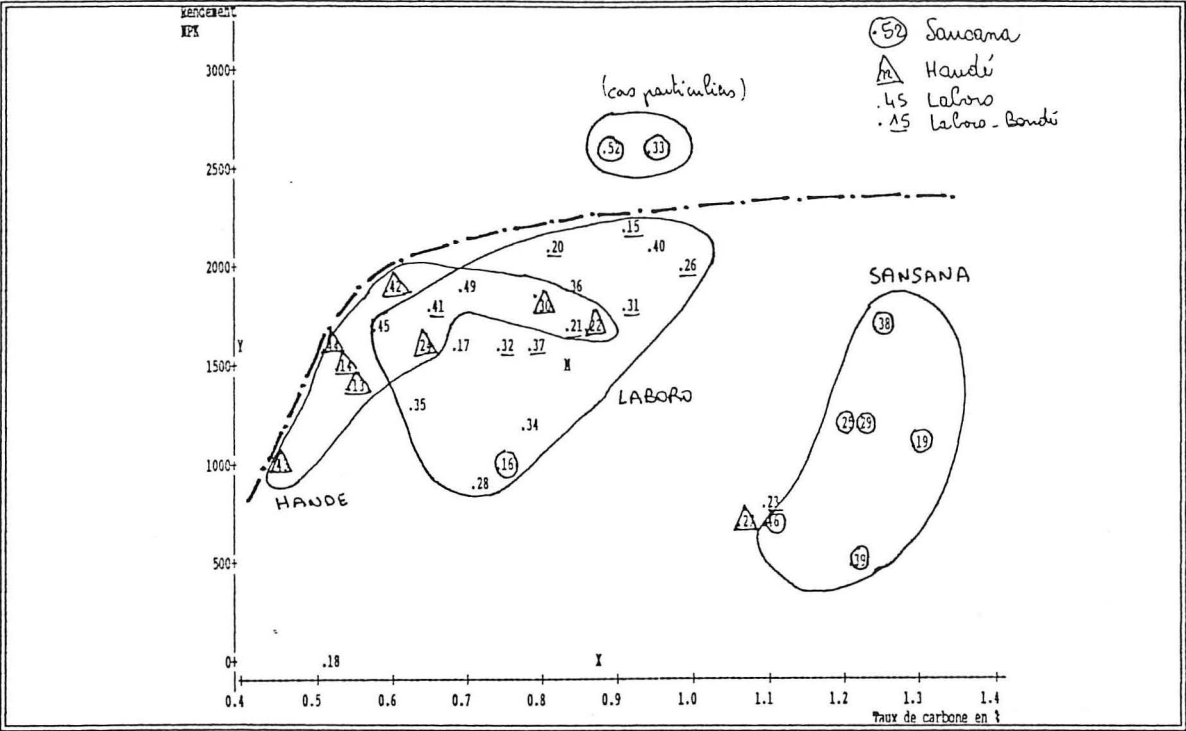


Figure 39 : Relations entre rendements obtenus et taux de carbone dans les différentes unités de sol des sites cultivés en cotonnier en 1988.

En ce qui concerne les sols "handé" (Unité 3), on observe plutôt l'inverse avec des valeurs du taux de carbone très faibles (0,5 %) : ce constat peut s'expliquer par l'ancienneté des parcelles (âge moyen plus élevé que dans les autres unités) et peut être aussi par un faible potentiel de ces sols en matière organique, lié à la faible teneur en éléments fins.

La liaison "taux de carbone-rendement en coton" n'apparaît pas clairement, la représentation est intéressante pour visualiser les différentes unités de sol et montrer leur comportement différents.

Les autres paramètres de l'analyse chimique n'ont pas d'influence directe significative sur les rendements en coton ou en maïs. L'utilisation des classes à partir des potentiels exprimés en pots montre une certaine concordance entre les rendements obtenus en pots témoins et les productions au champ pour le cotonnier comme pour le maïs (tableaux 32).

Tableau 32 : Moyennes des rendements en coton et maïs au champ (en Kg/ha) en fonction des quatre classes de potentiel définies.

Coton	Classe 1 R ≤ 0,33 n=8	Classe 2 0,34 < R < 0,38 n=9	Classe 3 0,39 < R < 0,42 n=11	Classe 4 R > 0,43 n=7
TEMOIN	1004	974	1168	1256
NPK	1437	1494	1641	1609

Maïs	Classe 1 R ≤ 0,33 n=6	Classe 2 0,34 < R < 0,38 n=5	Classe 3 0,39 < R < 0,42 n=4	Classe 4 R > 0,43 n=8
TEMOIN	1947	2828	2371	2547
NPK	3584	4310	3961	3953

Dans l'approche des différents facteurs limitant la production agricole dans les systèmes de culture que nous avons rencontrés, nous avons essayé d'expliquer ceux qui avaient été contrôlés.

Il est clairement apparu que la contrainte "eau", liée à la pluviométrie et aux propriétés intrinsèques du sol d'emmagasiner et de restituer cette eau pour les cultures est déterminante dans les situations étudiées.

La fertilité chimique ne semble pas un facteur limitant dans de telles conditions : nous nous trouvons dans des agro-systèmes dans lesquels la fertilisation minérale est systématique sur le cotonnier et le maïs depuis plusieurs années et dans lesquels la jachère de régénération après quelques années de culture est encore pratiquée.

Nous avons déterminé et caractérisé certaines contraintes du milieu et des pratiques culturelles rencontrées dans les systèmes de culture présents dans les villages de la région de HOUNDE. Au niveau de la richesse en éléments minéraux, les analyses minérales effectuées en laboratoire n'ont pas montré des richesses en éléments particulières : la fertilisation minérale d'appoint est donc une condition nécessaire à la bonne conduite de ces systèmes afin d'assurer une production agricole valorisante. Le principe même de cette fertilisation a toujours été admis dans le cadre des cultures de rente, comme le cotonnier mais souvent ignoré dans le cadre des cultures vivrières traditionnelles (sorgho, arachide, niébé). Dans le cas particulier du maïs, depuis l'utilisation de nouvelles variétés, l'agriculteur utilise de plus en plus de l'engrais minéral qui se trouve vite rentabilisé. Nous aborderons dans le chapitre suivant le problème de l'efficacité de l'engrais minéral et de la fertilisation organique dans notre dispositif expérimental.

5.4 - La fertilisation minérale

5.4.1 - L'efficacité de la fumure minérale

Il nous a semblé important de vérifier et d'expliquer dans notre dispositif l'impact des techniques culturelles comme l'apport de fertilisants chimiques et de produits organiques.

Nous avons calculé pour chacune des situations expérimentales l'efficacité de la fertilisation minérale apportée :

$$E = \frac{\text{Rendement NPK} - \text{Rendement Témoin}}{\text{Nombre d'unités fertilisantes apportées}}$$

Suivant la culture, l'efficacité de la fertilisation minérale à dose vulgarisée (soit 108 unités 44N-34P-21K-9S pour le cotonnier en deux apports, et 103 unités 60N-23P-14K-6S pour le maïs) est très variable. En ce qui concerne le cotonnier, elle s'échelonne de 0 à 10,6 pour les essais de 1988 ; pour le maïs les valeurs se répartissent entre 0,5 et 32.

Dans les unités de sol rencontrées, les résultats d'efficacité de l'engrais sont différents, principalement pour le maïs (tableau 33). Les valeurs sont les plus élevées dans le cas des sols "sansana" (Unité 1). Le maïs est bien valorisé par la fumure minérale dans les sols "laboro" (Unité 2.0) avec une efficacité moyenne de 20, ce qui revient à la production de 20 Kg de maïs par unité fertilisante apportée. L'efficacité de la fumure minérale dans le cadre d'une culture de cotonnier est moins élevée que pour le maïs, mais présente peu de différences entre les unités de sol. La réponse à la fertilisation minérale dans le cadre d'une culture du maïs sera donc beaucoup plus dépendante des aspects sol et historique cultural que dans le cas du cotonnier.

Tableau 33 : Efficacité de l'engrais minéral suivant les unités de sol rencontrées en 1988 dans tous les essais et tests.

	Sansana	Handé	Laboro	Laboro-Bondé
Coton	4,7	3,4	3,9	4,5
Maïs	16,6	10,1	20,9	11,6

Dans toutes les parcelles où nous avons conduit l'expérimentation, ce coefficient est très variable et déterminera la rentabilité économique de la fertilisation minérale.

Nous présentons dans le tableau (34) certaines valeurs, classées en ordre croissant d'efficacité de l'engrais minéral sur le cotonnier et le maïs dans les différentes situations que nous avons étudiées ; quand cela était possible, nous avons signalé le ou les facteurs limitants qui ont pu limiter l'efficacité.

Tableau 34 : Valeurs particulières (faibles et fortes) de l'efficacité de la fumure minérale dans les expérimentations conduites en 1988.

SITES	SOL	RDT NPK	EFFIC.	FACTEUR LIMITANT
COTON				
19	1	1094	-0,5	Epandage engrais tardif
31	2,2	1771	-0,2	Témoin élevé
49	2	1919	-0,1	Témoin élevé
27	3	690	0,36	Semis tardif
43	3	1042	1,21	Epandage engrais tardif
39	1	521	1,69	Engorgement, épaisseur sol
17	2	1607	1,86	Témoin élevé
23	2,2	833	1,93	Epandage engrais tardif
..
38	1	1719	8,44	
52	1	2592	8,56	
33	1	2604	10,61	
MAIS				
8	2,2	5763	0,43	Témoin élevé
5	3	1805	3,54	Semis tardif
12	3	2820	4,37	Epaisseur sol
..
56	2	4766	26,38	
1	1	6278	27,86	
48	2	5182	31,93	

Les résultats montrent bien une grande variabilité de l'efficacité de la fumure minérale dans notre dispositif, malgré un protocole relativement uniforme (techniques culturales, doses de fumure, taille des parcelles) ; seules les dates de semis et dates d'apport d'éléments fertilisants sont laissées à l'appréciation du paysan. Toutefois, aucune relation significative n'a pu être démontrée entre l'efficacité de la fumure minérale et la date de semis, ni entre l'efficacité et la date d'apport d'engrais (écart entre semis et épandage).

Les faibles valeurs d'efficacité dans le cas du cotonnier, sont expliquées par le niveau de rendement du traitement NPK (figure 40) : la liaison NPK - efficacité est positive (cotonnier : $r = 0,554 **$; maïs : $r = 0,528 **$). Nous avons remarqué une tendance négative entre l'âge des parcelles et l'efficacité de l'engrais sur cotonnier, mais non significative. Aucune autre relation entre l'efficacité et les différents paramètres que nous avons présentés ci-dessus, n'a pu être mise en évidence.

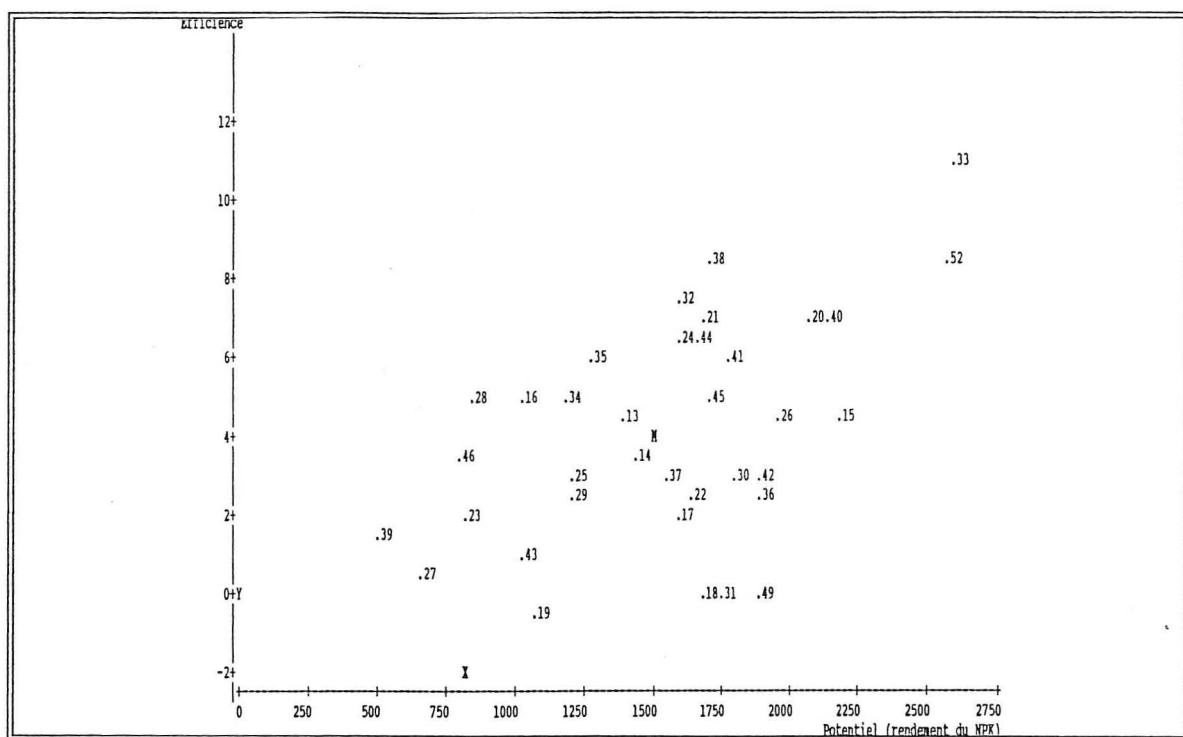


Figure 40 : Efficacité de la fumure minérale en fonction du potentiel (rendement NPK) dans les tests cultivés en coton en 1988.

Dans certain cas, le niveau de rendement du témoin est élevé et l'efficacité est faible. Le potentiel de la variété cultivée est loin d'être atteint : par exemple pour la variété de cotonnier L299, le potentiel est de 3500 Kg/ha). Nous n'avons pas pu expliquer cette non réponse à la fertilisation minérale dans ces cas particuliers.

Si nous reprenons le classement des sites d'après leur potentiel exprimé dans les cultures en pots, il n'apparaît aucune différence entre les efficacités de la fumure minérale sur les plantes cultivées (maïs et cotonnier) dans les quatre classes que nous avons déterminées (tableau 35).

Tableau 35 : Efficacités moyennes observées sur cotonnier et maïs en 1988 dans les essais au champ (en Kg/ha) en fonction des quatre classes de potentiel définies.

	<u>Classe 1</u> R \leq 0,33	<u>Classe 2</u> 0,34 < R < 0,38	<u>Classe 3</u> 0,39 < R < 0,42	
Cotonnier	4,0	4,8	4,4	3,3
MAIS	15,9	14,4	15,4	13,7

Nous avons utilisé la technique des diagnostics foliaires sur cotonnier (méthode IRCT) (Braud 1980) sur certains essais et tests du dispositif en 1989. Dans les tableaux 36 et 37, figurent les valeurs des fonctions de production des principaux éléments minéraux que nous avons calculées à partir des formules de la bibliographie : elles sont exprimées en pourcentage de la valeur de référence. Ces fonctions sont représentatives pour chaque élément, des conditions de nutrition de ce dernier avant le stade floraison, soit environ 70 jours après la levée.

La fonction de production "Azote" nous semble dans tous les cas faible : elle exprime une carence en azote, alors que les cultures (notamment sur les traitements NPK) ont reçu une fertilisation azotée conséquente de 44 unités sur le cotonnier et de 60 unités sur le maïs. La méthode mise au point par l'IRCT repose sur des résultats obtenus en milieu contrôlé, stations de recherche ou points d'appui d'expérimentation dans lesquels les dates de travaux sont rigoureusement appliquées.

Dans notre dispositif, les protocoles ont été respectés (préparation du sol, doses de fertilisant, couverture phytosanitaire), mais les dates de réalisation de certains travaux ont été laissées à la convenance de l'agriculteur.

En ce qui concerne l'épandage d'engrais de fond recommandé au semis, nous nous sommes aperçus que dans les pratiques paysannes, il a toujours lieu au moment du premier sarclage. Les justifications de ce retard peuvent être:

- une surcharge du calendrier de travail au moment des semis,
- l'application de l'engrais minéral uniquement sur les cultures normalement levées
- l'utilisation du premier sarclage pour enfouir l'engrais.

Tableau 36 : Nutrition minérale du cotonnier appréciée par le diagnostic foliaire à 70 jours de la levée : valeurs des fonctions de production pour N, P, K et S. Essais "Matière Organique" et Essais "Fertilisation" en 1989.

SITES	TRAIT.	F(N)	F(P)	F(K)	F(S)	RDT	EFFIC
55	TEM	84,4	98,4	96,8	98,7	721	
	NPK	86,4	100,3	97,8	100,6	1034	2,90
7	TEM	82,2	91,1	80,9	99,7	1021	
	NPK	77,6	91,4	78,0	98,0	1362	3,15
4	TEM	76,3	89,8	93,7	92,6	1042	
	NPK	83,6	97,6	91,1	96,7	1414	3,44
1	TEM	75,7	90,9	81,1	96,8	1492	
	NPK	81,2	95,0	78,6	98,8	2156	6,15
8	TEM	74,9	88,1	97,4	92,3	982	
	NPK	83,5	95,4	94,0	96,0	1672	6,39
59	TEM	82,4	89,0	91,3	95,1	997	
	NPK	88,9	90,6	82,9	99,4	1701	6,52
56	TEM	72,6	93,0	83,2	97,7	1128	
	NPK	83,9	97,8	89,6	100,9	1971	7,81
53	TEM	86,5	93,4	94,1	99,0	1042	
	NPK	76,9	87,1	94,8	92,2	2031	9,16

Tableau 37 : Nutrition minérale du cotonnier appréciée par le diagnostic foliaire à 70 jours de la levée : valeurs des fonctions de production pour N, P, K et S.
Tests de Réponse à l'Engrais en 1989

SITES	TRAIT.	F(N)	F(P)	F(K)	F(S)	RDT	EFFI
TR193	NPK	81,1	94,2	92,7	96,8	918	2,23
	TEM	70,8	80,6	91,4	89,6	677	
TR105	NPK	76,7	87,5	70,3	98,3	1243	2,89
	TEM	68,3	82,3	89,2	91,5	931	
TR133	NPK	76,1	95,9	95,1	97,6	1081	3,02
	TEM	65,4	86,9	95,4	93,5	755	
TR342	NPK	79,8	95,0	92,9	96,7	1068	3,26
	TEM	74,5	82,7	89,5	93,1	716	
TR129	NPK	77,5	95,2	95,7	96,9	1510	3,61
	TEM	71,5	88,6	94,3	94,0	1120	
TR350	NPK	75,1	87,0	88,9	97,8	911	3,85
	TEM	61,6	80,0	90,3	95,4	495	
TR112	NPK	77,2	88,7	83,5	96,0	1100	4,88
	TEM	76,1	86,7	85,1	95,4	573	
TR343	NPK	73,1	92,0	95,1	98,5	1406	5,55
	TEM	63,7	85,9	95,3	93,1	807	
TR151	NPK	72,1	93,9	92,4	95,5	1484	5,67
	TEM	62,3	85,7	93,6	97,4	872	
TR116	NPK	78,7	96,5	92,7	97,3	1354	6,15
	TEM	64,6	70,8	86,0	92,5	690	
TR95	NPK	78,6	86,7	75,2	95,7	1673	6,51
	TEM	75,4	81,4	88,1	93,9	970	
TR100	NPK	82,2	93,1	81,4	96,2	1654	6,70
	TEM	71,3	84,9	88,1	92,9	931	
TR996	NPK	74,4	88,5	93,9	96,0	1615	7,48
	TEM	71,1	84,8	89,9	95,2	807	
TR283	NPK	77,0	95,2	93,3	99,0	1797	8,08
	TEM	62,7	86,9	89,5	92,3	924	
TR249	NPK	73,3	93,1	91,6	96,9	1771	8,56
	TEM	65,8	82,2	89,1	90,5	846	
TR146	NPK	69,3	96,9	98,0	96,6	1543	8,62
	TEM	56,4	88,7	95,9	94,8	612	
TR107	NPK	81,7	96,2	86,3	98,2	1849	9,41
	TEM	75,0	90,2	87,5	95,1	833	
TR142	NPK	75,2	94,5	98,1	101,1	2409	10,49
	TEM	61,4	88,2	95,6	99,3	1276	
TR256	NPK	77,9	94,8	91,5	95,7	2044	10,67
	TEM	69,0	88,9	94,6	94,5	892	
TR106	NPK	78,6	93,6	92,0	99,1	2331	13,27
	TEM	72,0	82,9	90,8	98,0	898	

Les écarts entre les dates de semis et les dates d'épandage de l'engrais sont très variables et peuvent s'échelonner jusqu'à 57 jours après le semis (tableau 38).

Tableau 38 : Ecart en jours entre les dates de semis et celles des épandages d'engrais.

	MOYENNE	MAXI	MINI
MAIS 88	20	41	9
MAIS 89	20	28	13
COTON 88	32	51	18
COTON 89	30	44	14
TESTS			
COTON 89	44	57	27

La faiblesse des valeurs des fonctions de production "azote" rencontrées dans notre dispositif sur les traitements fertilisés peut être expliquée en partie par ce décalage de la date d'apport d'engrais minéral : la plante s'alimente alors à partir des ressources du sol durant cette période.

La fonction de production "phosphore" présente des valeurs comprises entre 80 et 100 %, ainsi d'ailleurs que la fonction "potasse". Les retards constatés dans l'application de l'engrais ne pénalisent pas ou peu ces fonctions. La fonction "soufre" avoisine toujours les 100%, confirmant ainsi une alimentation minérale normale pour cet élément, indispensable à la croissance du cotonnier, et toujours présent dans les "engrais coton".

Entre les traitements "témoin" et "NPK", c'est surtout la fonction "phosphore" qui marque la différence et permet d'expliquer en partie les différences de rendement. Les faibles teneur en phosphore assimilable sont une caractéristique des sols ferrugineux tropicaux lessivés, et nous l'avons signalé dans l'interprétation des résultats d'analyse de sol. Toutefois, les valeurs de la fonction de production "phosphore" des traitements "témoin" ne semblent pas indiquer une carence en phosphore, mais plutôt une déficience : cela peut s'expliquer par le fait que les résultats que nous avons obtenus l'ont été dans des parcelles de culture qui sont intensifiées depuis plusieurs années (préparation du sol, fertilisation minérale, ...).

L'efficience de la fumure minérale permet de compléter les résultats de rendement, et d'approcher la rentabilité économique d'une telle pratique. Une unité fertilisante revient en moyenne à 200 FCFA dans les conditions paysannes et un kilogramme de coton est vendu 100 FCFA : l'efficience minimum pour rentabiliser la fertilisation minérale est de 2 pour le cotonnier dans les systèmes de culture pratiqués dans cette zone. Pour le maïs dont la vente est plus fluctuante (en moyenne 50 FCFA) la valeur minimale de l'efficience est de 4.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence une relation entre l'efficience de l'engrais et les résultats des diagnostics foliaires, interprétés par la méthode IRCT, mise au point à partir de résultats dans des milieux contrôlés. Cette méthode mériterait certainement à être complétée par des résultats en milieu réel et par l'interprétation de l'effet des dates d'apport de l'engrais.

5.4.2 - Utilisation de l'urée

Dans les essais "fertilisation" nous avons inclus dans le protocole un traitement "urée" qui ne recevait comme fumure minérale qu'une dose d'urée de couverture au 40^{ème} jour (23 N pour le cotonnier) ou au 30^{ème} jour (46 N pour le maïs).

Dans les pratiques paysannes, nous avons souvent rencontré ce type de fertilisation minérale sur maïs. Nous avons évalué l'efficience (par unité apportée) de l'urée appliquée en cours de cycle, aucun engrais de fond n'ayant été apporté (tableau 39). L'application d'urée sur le cotonnier n'est pas valorisante dans les essais que nous avons conduits. Par contre, sur maïs et principalement dans les sols "sansana", l'efficience de cette fumure est intéressante. Economiquement elle peut aussi se justifier, et l'utilisation qu'en font déjà les agriculteurs confirme nos observations. Il faut souligner qu'à terme, ce type de fertilisation entraînera des déséquilibres minéraux. Elle ne peut être recommandée qu'avec prudence, et dans le cadre d'un conseil de fumure pour une culture et non pour un système équilibré.

Tableau 39 : Comparaison de l'efficacité de l'urée seule appliquée en couverture avec la fumure complète dans les différentes unités de sol pour les cultures en 1988.

COTON	Sansana	Handé	Laboro	Laboro-B	Moyenne
Engrais coton	4,7	3,4	3,9	4,5	4,1
Urée	1,4	3,7	0,9	3,2	2,3
MAIS	Sansana	Handé	Laboro	Laboro-B	Moyenne
Engrais coton	16,6	10,1	20,9	11,6	14,8
Urée	34,4	-0,9	26,1	16,2	19,0

La fertilisation minérale est une technique d'intensification qui permet une augmentation de la production agricole. Dans notre étude sur les systèmes de culture de la zone cotonnière du sud du BURKINA FASO nous avons démontré la rentabilité d'une telle technique et approché les facteurs limitants à sa totale expression. L'amélioration des techniques culturales de préparation et surtout de date d'épandage peuvent lever un certain nombre de contraintes.

5.5 - Efficacité des apports de matière organique

Dans notre dispositif, les essais "Matière Organique" conduits en 1988 et 1989 nous permettent de vérifier l'impact d'un amendement organique sur les rendements.

La matière organique utilisée dans chaque site était celle disponible dans l'exploitation concernée : celle-ci est très variable d'un essai à l'autre (annexe 13).

La composition minérale et chimique est caractéristique des terres de parc rencontrées dans la zone. Elles sont caractérisées par une forte teneur en silice, donc en partie inerte : 50 % en moyenne de l'apport de matière organique contient de la silice, justifiant ainsi le terme de "terre de parc".

La teneur en matière organique (proche de la "perte au feu" des résultats d'analyse de laboratoire) est en moyenne de 28% et le C/N de celle-ci est voisin de 13 : la quantité réelle de matière organique apportée est en moyenne de 1400 Kg/ha. La quantité de carbone fournie au sol est de l'ordre de 800 Kg/ha : la quantité de carbone initial présente dans l'horizon cultivé n'est que légèrement augmentée :

- pour un taux de 0,75 % de carbone initial, qui représente 25.200 Kg de carbone dans un sol à densité apparente de 1,68 (3360 tonnes/ha de terre pour un horizon de 0,20 cm)

- l'apport de 5 t/ha de fumier (en moyenne 800 Kg/ha de carbone) entraînerait dans notre exemple un nouveau taux de carbone dans le sol de 0,77 % : cette augmentation n'est pas significative et ne permet d'expliquer les différences de rendement.

La teneur en éléments minéraux est intéressante, notamment en azote, potassium et calcium. Pour l'azote, le fumier apporte entre 37 et 92 unités supplémentaires à l'hectare sous une forme très facilement assimilable ; la teneur en azote total du sol ne sera que très peu modifiée (comme pour le carbone). Les éléments minéraux tels que le calcium, le potassium et le magnésium sont apportés en quantité non négligeable par le fumier : le total peut atteindre 200 Kg/ha d'éléments supplémentaires. L'effet annuel sur les rendements obtenus en 1988 n'a pas été mis en évidence. Pour le calcium et le magnésium, éléments absents des engrais complexes actuellement utilisés, les amendements organiques à partir de poudrette de parc réduisent le déséquilibre.

Les apports de matière organique ont été uniformes en matière de doses : 5 Tonnes à l'hectare de produit ont été épandus et enfouis dans tous les sites ; nous avons exprimé l'efficacité de cet apport en Kg/ha de produit supplémentaire (tableau 40).

Tableau 40 : Effet des apports de matière organique (5 Tonnes/ha) sur :

- le nouveau taux de carbone du sol (en %)
- la quantité de bases échangeables apportées (en Kg/ha)
- l'efficacité exprimée en Kg/ha de maïs supplémentaire récolté en 1988.

N°	sol	Rendement du	Taux de carbone apport	Quantité de bases	Efficien. sans NPK	Efficien. avec NPK
48	2	1893	0,75	206	-200	-453
58	3	719	0,66	59	-257	382
47	2	1414	0,72	105	44	477
51	1	2924	0,55	103	253	513
54	1	1536	0,64	180	287	477
59	3	1466	0,46	59	513	800
56	2	2049	0,81	193	537	789
57	1	3464	0,56	189	632	870
55	2.2	1867	0,72	123	719	669
53	3	1919	0,36	225	893	825
50	1	3195	1,09	49	1042	1425

Durant les deux années d'expérimentation, les apports de matière organique ont amené des augmentations de rendement importantes. Dans le cadre d'une culture de maïs, et d'un apport de 5 tonnes de terre de parc, le surplus peut atteindre plus de 1000 Kg/ha de maïs. L'apport de fumier est toujours valorisé par l'utilisation de la fumure minérale classique (figure 41 et 42).

Dans certains cas, il n'y a aucun effet significatif de l'apport de matière organique (voir en annexe 7 les résultats statistiques par essai). Le niveau de rendement du témoin exprime assez bien le niveau de conduite de la culture et le niveau de fertilité de la parcelle : l'efficacité de l'amendement organique est étroitement liée à ce résultat. Dans la différenciation des unités de sol, les sols "sansana" (Unité 1) comme nous l'avons déjà montré précédemment ont des potentiels élevés (niveau de rendement du témoin) et valorisent bien les apports de fumier et d'engrais minéraux.

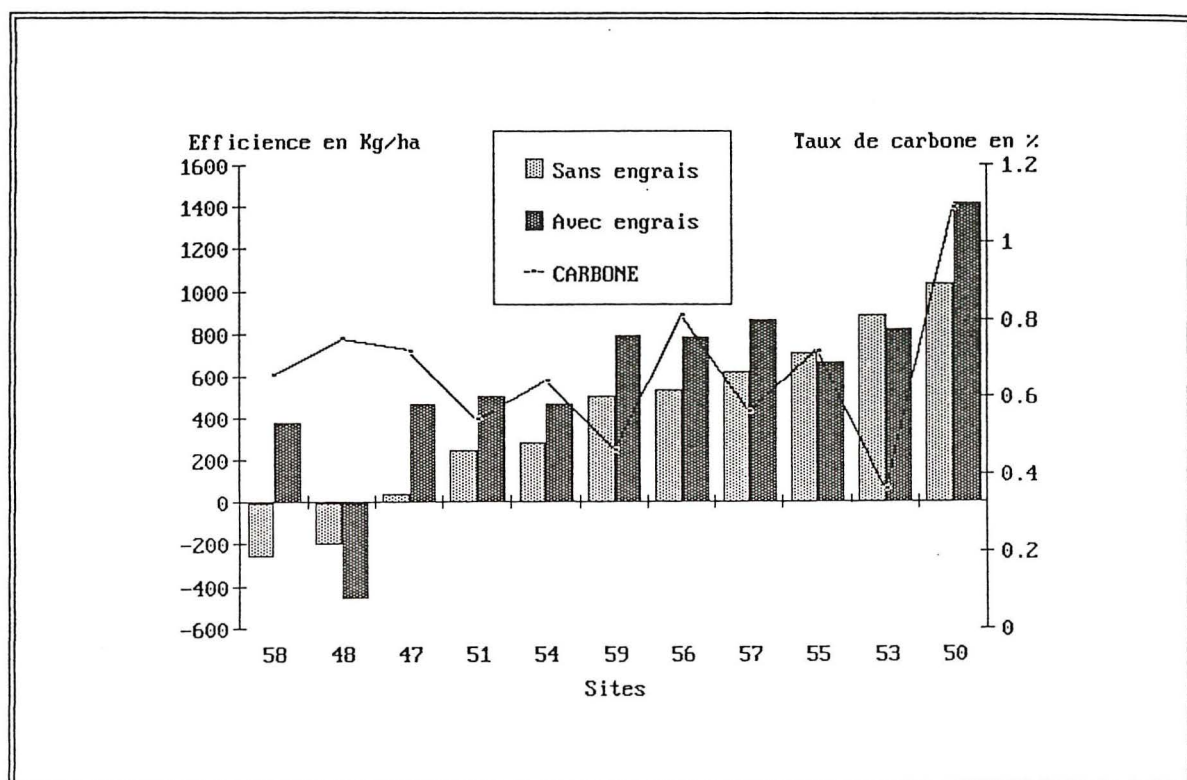


Figure 41 : Efficacité des apports de matière organique sur la culture de maïs en Kg/ha en 1988 sans engrais ou avec fumure minérale en fonction du taux de carbone dans le sol (en %).

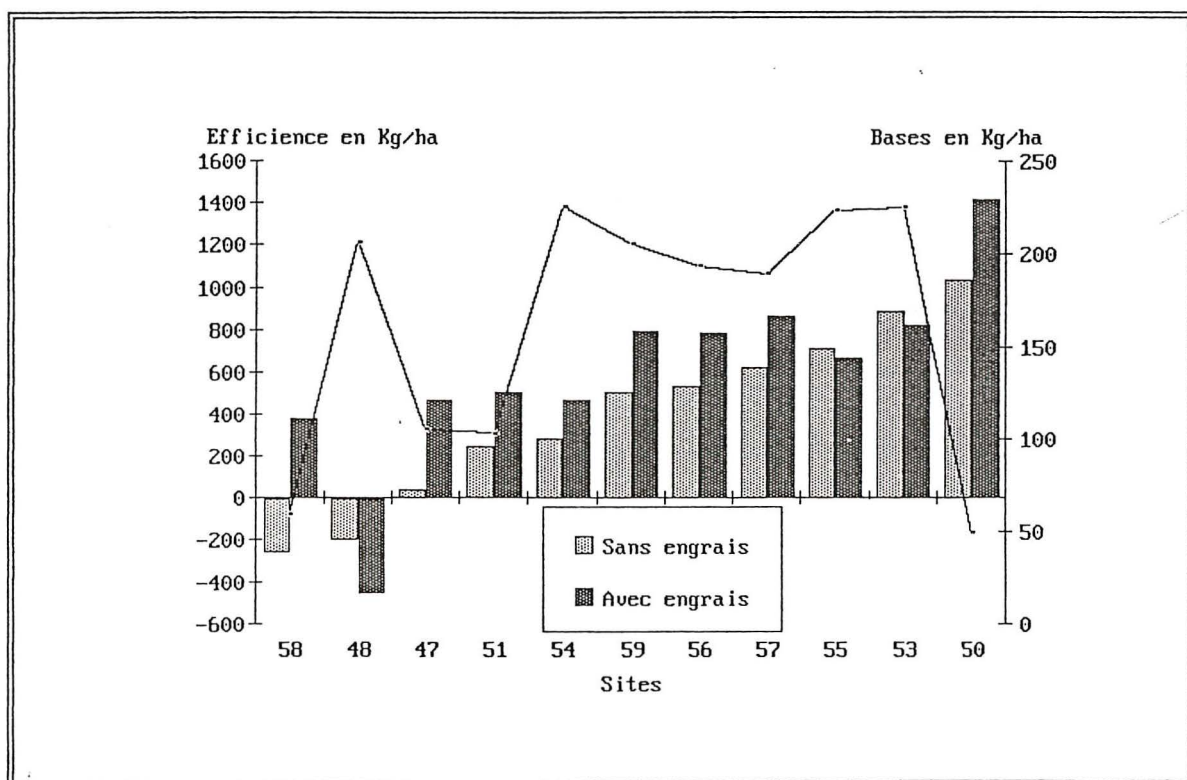


Figure 42 : Efficacité des apports de matière organique sur la culture de maïs en Kg/ha en 1988 sans engrais ou avec fumure minérale en fonction de la quantité de bases échangeables apportées en Kg/ha.

En deuxième année, certains essais ayant été reconduits, nous avons mesuré l'arrière-effet des apports sur une culture de cotonnier (tableau 41).

D'après les enquêtes conduites dans les villages, les quelques apports de matière organique que les paysans effectuent dans leur parcelles ont lieu avant la culture du maïs. Le peu de sites conservés en deuxième année, en raison des rotations pratiquées par les exploitants, nous obligent à être prudents avec l'interprétation. Néanmoins, au vu des résultats, l'arrière effet est mis en évidence dans 10 cas sur 12. Les surplus de rendement de coton sont plus faibles que ceux du maïs, comme dans l'ensemble de nos résultats.

Tableau 41 : Efficience des apports de matière organique exprimée en Kg/ha de coton supplémentaire récolté en 1989 pour 5 Tonnes/ha de fumier en 1988 (arrière-effet).

N°	sol	Rendement du Témoin	Efficience sans NPK	Efficience avec NPK
55	2.2	721	73	263
53	3	1042	286	60
51	1	1424	313	-130
47	2	781	347	416
59	3	997	349	401
56	2	1128	375	-62

L'efficience de la matière organique dans les systèmes de culture que nous avons rencontrés est indéniable sur les rendements des cultures comme le maïs et le cotonnier, et ce pendant un minimum de deux années. Etant donnée la composition chimique des différentes "terres de parc" qui ont été utilisées dans le dispositif, nous pouvons confirmer l'effet minéral sur ces cultures du à un apport d'éléments fertilisants supplémentaires. En raison de la faible durée de l'expérimentation, il ne nous a pas été possible de mesurer l'impact sur les propriétés physico-chimiques du sol (teneur en carbone et stabilité structurale de l'horizon cultivé).

5.6 - Conclusion sur l'étude des paramètres influençant la production agricole

Il était important de bien caractériser pour chaque situation culturale les facteurs limitant la production des plantes cultivées. Certaines insuffisances sont apparues dans notre dispositif et dans les observations que nous avons réalisées :

- malgré l'utilisation comme base du dispositif des unités de sol d'après la dénomination vernaculaire, nous n'avons pu prendre en compte toutes les unités présentes : la caractérisation des différentes unités de paysage par la suite et la réalisation des profils culturaux (malheureusement à la fin de l'expérimentation) nous ont convaincus que cette classification était sommaire,

- les cultures en micro-pots et les analyses de sol nous ont permis de définir le potentiel de chacun des sites et de vérifier l'absence de valeurs critiques qui pourraient contrarier une agriculture intensive,

- certaines liaisons entre les travaux de laboratoire (analyses et cultures en pots) et les expérimentations au champ ont pu être mises en évidence, malgré les difficultés d'interprétation des résultats dans le milieu réel,

- la principale observation que nous avons réalisée sur le terrain était le rendement de la culture : cette donnée ne suffit pas à notre interprétation car elle est fortement influencée par une multitude de facteurs : parmi ceux-ci, certains n'ont pas été contrôlés, ni mesurés (enherbement, attaques parasitaires). D'autres comme le bilan hydrique de la culture ont permis d'expliquer certains résultats obtenus,

L'hétérogénéité des situations nous a beaucoup gêné dans la caractérisation des potentialités agronomiques de cette région. Elle est due :

- aux différentes pratiques culturelles anciennes : l'historique cultural (en années), les amendements et apports de fertilisants dans un passé plus ou moins proche, les techniques de travail du sol, entraînent des évolutions différentes du sol dans lequel se développent les plantes cultivées.

- aux pratiques culturelles actuelles : dans l'itinéraire technique utilisé par l'agriculteur, la préparation du sol, les dates de semis, les dates de sarclage, la densité de semis sont très variables d'une parcelle à l'autre : la satisfaction des besoins en eau de la culture est différente, et la production modulée en conséquence.

- aux potentialités initiales des différentes unités de sol, caractérisées dans notre approche par les profils culturaux et les analyses physico-chimiques de laboratoire. La profondeur de l'horizon cuirassé et la capacité du sol à stocker l'eau et à la drainer nous semblent affecter fortement le développement des cultures, surtout lors d'années exceptionnellement sèches ou trop pluvieuses.

Les rendements obtenus dans chaque site expérimental peuvent être en partie expliqués et interprétés par les différentes facteurs limitants que nous avons mesurés ; par contre, la généralisation aux différentes unités de sol et de paysage n'a pas été possible. Nous pouvons retenir les principaux facteurs limitants qui ont été caractérisés :

- la profondeur de sol
- l'engorgement
- le calendrier cultural

Ces facteurs jouent un rôle primordial dans l'évaluation du bilan hydrique de la culture.

Les différents paramètres de la fertilité chimiques des sites rencontrés, que sont le taux de carbone dans le sol, la teneur en bases échangeables, l'efficacité des engrais minéraux ne nous ont pas permis non plus de généraliser les résultats à des grandes unités du milieu.

6 - CONCLUSION

6.1 - La méthodologie utilisée

La démarche système (POULAIN et al. 1978) et l'approche pluridisciplinaire que nous avons employée a mis en évidence une hétérogénéité des situations culturelles, entraînant une forte variabilité des résultats en raison :

- des potentialités initiales des différentes unités du milieu,
- des historiques cultureux des parcelles,
- des itinéraires techniques pratiqués par les paysans

Pour prendre en compte cette hétérogénéité, nous avons tenté de caractériser le milieu dans lequel nous voulions apprécier la fertilité des sols. Cette connaissance du milieu, aussi approfondie que possible devait nous permettre d'implanter le plus rigoureusement possible le dispositif d'expérimentation et de mesurer des paramètres sur le sol et les plantes cultivées.

Il existe toujours l'incertitude d'avoir omis certaines situations et de ne pas être aller assez loin dans la finesse des observations. Après avoir procédé à l'interprétation des résultats, il est apparu que l'utilisation des unités de sol caractérisées par la dénomination vernaculaire n'ont permis qu'une interprétation partielle des résultats. Le bilan hydrique des culture n'a pu être établi qu'en prenant en compte certaines caractéristiques comme la profondeur de sol exploité par les racines, la présence ou non d'un horizon induré, la manifestation des phénomènes d'engorgement. Ces observations peuvent remettre en cause le choix initial des catégories.

Nous avons utilisé plusieurs techniques d'évaluation des problèmes agronomiques de cette région, à différents niveaux de perception ; la pertinence et la facilité à mettre en oeuvre chacune d'elles sont résumées ci-dessous :

* la cartographie : elle a été l'outil indispensable à la représentation spatiale des phénomènes, à l'échelle régionale comme à l'échelle d'un ou deux terroirs villageois. L'utilisation des photographies aériennes et des données satellitaires a permis l'élaboration de documents cartographiques visualisant les phénomènes agricoles. En plus, l'interprétation des données fournies par le satellite SPOT a donné des statistiques chiffrées sur les superficies des différents domaines. C'est la méthode qui permet aux agronomes de visualiser et de raisonner les problèmes agricoles au niveau d'une région, d'un village, ou d'un paysage.

* les enquêtes auprès des villageois : afin de prendre en compte toutes les composantes et par souci d'efficacité, nous n'avons pas retenu d'échantillon d'exploitations. Nous avons effectué un recensement général des exploitations et de leurs caractéristiques : c'est un travail fastidieux et lourd qui ne peut être reconduit facilement. Dans l'hypothèse de données disponibles fiables, il est possible d'envisager un échantillonnage.

* les enquêtes plus spécifiquement agronomiques : une partie des questionnaires concernait l'identification des problèmes agronomiques avec les paysans en essayant de recueillir un certain nombre de critères. Parmi ceux-ci, la durée de culture sur la parcelle n'est pas suffisamment pertinente. La caractérisation du sol et de ses propriétés nous a par contre apporté beaucoup d'informations, que nous avons pu relier avec les résultats analytiques. Il est important de s'appuyer sur la connaissance qu'ont les paysans du milieu qu'ils mettent en valeur.

* la classification des unités de sol d'après les dénominations vernaculaires est validée par un certain nombre de paramètres analytiques. La conduite différente de ces unités a été mise en évidence par la durée de culture. Cette caractérisation ne concerne que l'horizon superficiel du sol, l'horizon travaillé.

* les profils culturaux : ils ont été réalisés à la fin de nos travaux, afin de caractériser chaque site d'expérimentation : les observations réalisées ont facilité l'interprétation des rendements. Nous pensons qu'il aurait été utile de décrire des profils avant le choix des sites d'expérimentation, afin d'optimiser le dispositif. C'est une technique indispensable pour bien décrire les phénomènes de circulation d'eau dans le sol et pour apprécier la colonisation racinaire, qui conditionnent le bilan hydrique de la culture, et donc sa production. Les observations complètent la classification en langue vernaculaire des sols par des observations sur les horizons sous-jacents à l'horizon cultivé.

* les analyses de sol : elles apportent des informations intéressantes sur l'horizon cultivé (0-20 cm). Nous avons montré une bonne concordance entre les descriptifs paysans et les résultats de l'analyse granulométrique. La mesure de pH réalisée dans l'enquête agronomique n'est pas suffisante pour caractériser les problèmes de fertilité. Il est nécessaire d'analyser les taux de carbone et d'azote, la teneur en aluminium échangeable (nulle dans nos situations), et la capacité d'échange cationique. Il est important de réaliser les analyses dans le maximum de situations différentes et de vérifier la pertinence de l'échantillonnage.

* les cultures en pots : nous avons utilisé cette technique pour compléter les analyses de sol par des observations sur la production de matière sèche de fonio sur ces mêmes échantillons. Les résultats obtenus sont spectaculaires, notamment sur l'effet des apports de fertilisants minéraux. Ils ont permis d'apprécier le potentiel du sol des différents sites et sa capacité à valoriser une fertilisation minérale avec établissement de quatre classes de potentiel.

Une réserve peut être formulée quant à l'utilisation de la seule fraction terre fine des échantillons (<2mm). Les éléments grossiers ont été éliminés, alors qu'il a été démontré que la teneur en gravillons était un facteur intervenant sur les propriétés du sol.

* l'expérimentation : le problème essentiel est le choix du dispositif dans le milieu étudié afin de prendre en compte toutes les catégories de situations. La phase "diagnostic" de l'étude doit être la plus précise possible, en utilisant au maximum les "outils" cités ci-dessus. Durant cette phase d'expérimentation, nous avons pu observer certains paramètres sur les plantes cultivées, comme le rendement. Nous avons peut-être mis trop l'accent sur ce résultat qui n'est que l'expression globale de la productivité d'une plante, et dépendante d'un grand nombre de facteurs, notamment les techniques agricoles utilisées. Le suivi en milieu paysan des dispositifs expérimentaux que nous avons mis en place, est soumis à des contraintes et aléas propres à l'exploitant et à son calendrier cultural. Afin de suivre et d'analyser les phénomènes agronomiques en milieu réel et leur évolution sur plusieurs années, il est indispensable d'avoir des parcelles entièrement sous la gestion du chercheur, qui contrôlera le maximum de facteurs. Dans ce cas, nous perdons la composante humaine et sociale, qui doit alors être prise en compte dans d'autres types d'expérimentations.

* liaison laboratoire-terrain : les relations entre les résultats obtenus en milieu contrôlé (cultures en pots, analyses) avec ceux obtenus au champ sont souvent difficiles à mettre en évidence en raison :

- de l'hétérogénéité des pratiques culturales durant les deux années d'expérimentation,

- de l'utilisation dans les micro-pots d'un échantillon de sol remanié et tamisé (à 2 mm).

* les analyses de plantes : cette technique mise au point dans des dispositifs en station s'est avérée difficilement exploitable dans les conditions de notre étude. L'hétérogénéité des situations, notamment les dates de semis et les dates d'apport de l'engrais ont rendu l'interprétation des fonctions de production difficile. Le contrôle des dates d'apport de l'engrais est indispensable pour bien valoriser la technique des diagnostics foliaires, ce qui suppose une gestion directe des essais par le chercheur.

La durée de l'étude étant de trois années, il n'a pas été possible de mettre en place un suivi de l'évolution des phénomènes. Nous avons fait un constat de la situation d'une région à un instant donné. Quelques éléments historiques ont été appliqués à l'occupation agricole du terroir (en 1981 ou même en 1952), à la démographie (recensements de 1975 et de 1985) et l'historique culturel de certaines parcelles.

Il sera donc indispensable dans les prochaines études d'approcher les effets des différentes pratiques agricoles :

- à court terme, en ce qui concerne la productivité
- à long terme pour la protection de l'environnement.

En définitive, nous recommandons une caractérisation du milieu physique, humain et agricole avant l'implantation d'un dispositif d'observation des phénomènes agronomiques. Ce diagnostic est indispensable en raison de l'hétérogénéité du milieu naturel, amplifiée par les techniques culturales diverses. Il doit être le plus rigoureux possible afin de prendre en compte toutes les situations physiques ou culturelles.

Le suivi des phénomènes agronomiques en milieu paysan doit être réalisé dans des essais contrôlés par le chercheur, ce qui écarte les facteurs humains et le calendrier culturel réel du paysan.

Le développement des actions de recherche en milieu réel, dans les différentes zones du pays dans lesquelles nous pourrions développer cette méthodologie nous obligerons à choisir certaines techniques de caractérisation et à en alléger certaines.

6.2 - Les potentialités agronomiques de la zone de HOUNDE

Malgré le pessimisme affiché par certains et les perturbations importantes observées dans cette zone pendant nos travaux, nous n'avons pas recensé de situations de fertilité catastrophique.

Les phénomènes d'érosion existent mais sont encore limités, et n'affectent pas les productions agricoles annuelles. Toutefois, les processus sont sournois et en absence de mesures préventives, ils ne pourront que s'amplifier.

Nous avons observé et recensé des abandons de parcelles : les principales causes d'abandon étaient la faible productivité, la non-réponse aux techniques d'intensification (notamment la fertilisation minérale) et l'envahissement par les plantes adventices.

Dans le terroir de DOHOUN où l'occupation de l'espace est faible par rapport aux potentialités, moins de 10% de la superficie totale étant occupée par l'agriculture, les paysans peuvent se faire attribuer facilement des nouvelles surfaces : celles-ci, en jachère de régénération sont mise en culture après défrichement. Cette impression d'abondance laisse supposer toutefois des disparités entre les différentes familles et communautés ethniques. La localisation dans les quartiers, l'âge des jachères, l'unité de paysage et de sol, sont certainement pris en compte lors des attributions : malheureusement nos données sont insuffisantes apprécier ces critères.

La mise en culture récente du quartier de Bondé, situé à 8 kilomètres du centre du village de DOHOUN, a été réalisée par toutes les communautés présentes et même par des agriculteurs venant de villages voisins tels que BOUERE et HOUNDE. Chaque année, de nouvelles familles autochtones viennent encore s'installer dans le village de DOHOUN : c'est un signe de disponibilité en terres cultivables.

Dans le terroir de TIORO, nous avons observé des abandons de parcelles et quelques défrichement de jachères de longue durée. Dans le site du village lui-même et aux abords des habitations, il existe de nombreuses parcelles abandonnées depuis de nombreuses années qui n'ont pas l'aspect d'une jachère ancienne : seule la strate herbacée est développée, les strates arbustives et arborées sont quasi inexistantes. Ces parcelles deviennent des champs de case, et bénéficient alors d'amendements organiques : c'est la condition qui permet une durée de culture importante. Malheureusement, certaines familles allochtones ont abandonné leur champ et quitté le village de TIORO dans ces trois dernières années : elles ont migré vers d'autre régions. Cette constatation nous laisse supposer une faible disponibilité en terres fertiles à TIORO pour la population actuelle et l'impossibilité d'accroître les surfaces cultivées. Ce village, si accueillant dans les dix dernières années semble avoir atteint un seuil au delà duquel la mise en culture de nouvelles terres est compromise : les nouveaux migrants l'ont bien perçu et s'orientent vers d'autres horizons.

Dans ces deux cas différents, nous constatons un système de régulation de l'occupation de l'espace qui s'est instauré naturellement :

- soit par un défrichement et une mise en valeur de nouveaux quartiers de culture,
- soit par un arrêt de l'immigration ou un départ de certaines familles.

Les niveaux de rendement observés dans les différentes parcelles du dispositif d'expérimentation n'ont jamais été catastrophiques, comme nous le supposions au départ. Nous avons au contraire mesuré des rendements sur des parcelles témoin de l'ordre de 2 à 3 tonnes de maïs à l'hectare ou 2 tonnes à l'hectare de coton. Nous pouvons faire les hypothèses suivantes sur l'absence de situations critiques, situations où l'effet des techniques comme la fertilisation minérale serait nul en raison d'une dégradation des propriétés physico-chimiques du sol :

- les parcelles dégradées ne sont plus en culture au moment de l'enquête, les paysans les ont abandonnées avant l'effondrement des rendements. La solution est donc la remise en jachère, tant qu'il y a de l'espace disponible,

- nous n'avons pas retrouvé de telles situations dans les parcelles du dispositif. Il s'agirait alors de cas particuliers, qui auraient pu être recensés par une enquête préalable sur les rendements des cultures.

Les valeurs des analyses chimiques des échantillons de sol ne montrent pas de concentrations particulièrement faibles des différents éléments, notamment le carbone ; par ailleurs, nous n'avons trouvé aucune trace d'aluminium échangeable. En conséquence, nous n'avons pas pu vérifier l'hypothèse émise par d'autres chercheurs (BERGER et al. 1987) concernant la non-réponse aux engrais dans les sols ferrugineux tropicaux en dessous d'un seuil critique de la teneur en matière organique dans le sol (0,6% de matière organique, soit 0,35% de carbone).

L'intensification de l'agriculture réalisée à partir d'une culture de rente, le cotonnier a permis dans un premier temps d'équiper les exploitations en matériel de culture attelée et d'élever le niveau technique des planteurs. Dans un second temps, la culture de maïs de plein champ, bien valorisée par les techniques déjà mises en oeuvre sur le cotonnier, s'est développée dans les systèmes de culture au détriment du sorgho, culture vivrière traditionnelle. Cette évolution a transformé les habitudes alimentaires des populations de la région et a permis la commercialisation des productions vivrières supplémentaires. En raison des niveaux de rendement élevés, les exportations minérales de cette culture dans le cadre des systèmes maïs-cotonnier nécessitent une fertilisation minérale d'entretien compensant les pertes afin de maintenir le niveau de certains éléments chimiques (N, P, K, S principalement).

6.3 - Fragilité écologique et indicateurs de fertilité

Afin de caractériser la fragilité écologique de la région de HOUNDE, région en plein développement agricole, nous avons utilisé plusieurs indicateurs de fertilité. Ils servent à apprécier les phénomènes de dégradation physique et chimique du sol dans les agro-systèmes actuellement pratiqués.

La dégradation physique concerne principalement la stabilité structurale du sol, qui une fois un certain seuil atteint entraîne des phénomènes d'érosion.

Lors de la première phase de l'étude et des enquêtes remplies avec les agriculteurs, les phénomènes d'érosion étaient limités et ne sont jamais apparus comme une contrainte pénalisant la production agricole. Le suivi de ces phénomènes et de leur évolution n'était pas possible pendant une durée d'expérimentation de deux années. Nous n'avons donc pas mis en place d'expérimentation ni de mesures sur ces paramètres.

A partir des résultats classiques de laboratoire (analyses granulométriques et chimiques) nous avons calculé le coefficient S_t d'instabilité structural. Cet indice est difficilement applicable dans les sols sableux, et ne nous a pas permis de distinguer les situations culturales.

Nous avons observés une diminution des teneurs en éléments fins (argile) dans l'horizon cultivé dans les parcelles les plus âgées, éléments entraînés en profondeur par le lessivage et en surface par l'érosion.

Les risques d'érosion sont importants dans ces agro-systèmes intensifs et bien que les phénomènes soient peu perceptibles, les résultats obtenus confirment l'urgence de mesures préventives comme les dispositifs anti-érosifs et la bonne pratique des techniques de préparation du sol.

Les indicateurs que nous avons utilisés pour caractériser la dégradation chimique sont :

- les cultures en pots qui permettent d'évaluer le potentiel de production des sols rencontrés et de les classer.

- les analyses chimiques de laboratoire. Le pH et le taux d'aluminium échangeable sont de bons critères pour apprécier les phénomènes d'acidification (que nous n'avons pas rencontrés dans notre dispositif). La teneur en matière organique, en liaison avec les propriétés physiques est aussi un paramètre intéressant ; complété par la répartition des fractions de l'azote organique, il donne une bonne appréciation de la fertilité de la parcelle. Les notions de seuils, carences, déficiences de la bibliographie apportent aussi des informations qui permettent d'expliquer certaines situations critiques. La teneur en bases échangeables, notamment le calcium et le magnésium doit être surveillée en raison de l'absence de ces éléments dans la composition des engrais utilisés dans ces agro-systèmes.

- la réponse à la fertilisation minérale des cultures au champ, mesurant ainsi l'efficacité de l'engrais. Pour rendre cet indicateur efficace, il est nécessaire de mettre en place un dispositif expérimental assez lourd et surtout de maîtriser le maximum de facteurs et contraintes intervenant sur la croissance et la production de la plante cultivée.

Dans l'hypothèse d'une saturation rapide de l'espace cultivable, il est important de pérenniser les agro-systèmes intensifs de la région de HOUNDE et de remplacer dans un avenir proche le système de la jachère de régénération de longue durée. Pour cela le bilan organique doit être maintenu, notamment par l'utilisation des résidus de culture et leur transformation en produit évolué (fumier) : l'intégration de l'élevage dans l'exploitation agricole est alors indispensable. Enfin le bilan minéral doit être lui aussi surveillé et compensé par les apports d'engrais minéral.

Afin d'évaluer au mieux la fragilité écologique d'une zone déterminée, il est nécessaire d'associer tous ces indicateurs et recommandations dans le cadre d'une démarche systémique.

LISTE DES FIGURES INSEREES DANS LE TEXTE

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Figure 2 : Extrait au 1/200.000 de la carte géologique du BUMIGEB (feuille HOUNDE).

Figure 3 : Totaux pluviométriques enregistrés à HOUNDE pendant la saison des pluies (mai à octobre) entre 1922 et 1989 ; méthode des moyennes mobiles (Albergel 1985).

Figure 4 : Pluviométries décadaires observées à HOUNDE en 1987, 1988, 1989.

Figure 5 : Principales unités du modelé de la région de HOUNDE.

Figure 6 : Extrait au 1/200.000 de la carte pédologique établie par l'ORSTOM (feuille NORD-OUEST).

Figure 7 : Caractéristiques granulométriques des différentes unités de sol.

Figure 8 : Représentation des valeurs granulométriques des prélèvements dans le diagramme de texture (modèle Laboratoire des Sols Versailles 1963).

Figure 9 : Taux de carbone (en %) et capacité d'échange cationique (en meq/100g. de sol) dans les différentes unités de sol (moyennes).

Figure 10 : Fractionnement de l'azote organique dans les différentes unités de sol.

Figure 11 : Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales des principaux résultats analytiques (Cercle des corrélations).

Figure 11 bis : Représentation des résultats de l'Analyse en Composantes Principales des principaux résultats analytiques (Représentation des sites d'expérimentation).

Figure 12 : Représentation schématique de certains profils culturaux observés dans les sites d'expérimentation.

Figure 13 : Carte des superficies cultivées de TIORO d'après interprétation numérique d'une image SPOT du 8/7/86, avec différenciation des couleurs de la couche superficielle du sol. (CIRAD/INERA 1988) (échelle 1/55.000).

Figure 14 : Photos aériennes des paysages de DOHOUN montrant les différences de couleurs superficielles.

Figure 15 : Dates d'arrivée et dénombrement des personnes allochtones dans les villages de TIORO et DOHOUN.

Figure 16 : Extrait de la carte des états de surface de la zone de HOUNDE d'après interprétation d'une image SPOT, avec légende. INERA/CIRAD (1989). Terroirs de DOHOUN et TIORO. (échelle 1/50.000).

Figure 17 : Evolution du parcellaire agricole entre 1981 et 1988 d'après interprétation de prises de vue aériennes en 1981 et d'une image SPOT du 12 octobre 1988. (échelle 1/50.000)

Figure 18 : Dénombrement des exploitations en fonction des surfaces emblavées par habitant.

Figure 19 : Diagrammes représentant la répartition des principales cultures dans les emblavements 1987 pour les différents ensembles.

Figure 20 : Diagrammes représentant la répartition des principales cultures dans les emblavements 1987 pour les différentes classes d'exploitations.

Figure 21 : Rendements en grammes de matière sèche de fonio dans les cultures en micro-pots.

Figure 22 : Photographies visualisant l'effet de la fumure NPK dans l'expérimentation en micro-pots.

Figure 23 : Rendements en Kg/ha de maïs des essais "matière organique" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

Figure 24 : Rendements en Kg/ha de coton des essais "fertilisation" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

Figure 25 : Rendements en Kg/ha de maïs des essais "fertilisation" en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" suivant les unités de sol.

Figure 26 : Rendements en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fertilisation minérale en 1988 sur les traitements "témoin" et "NPK" dans les différents systèmes de culture.

Figure 27 : Rendements en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fertilisation minérale en 1989 sur les traitements "témoin" et "NPK" dans les différents systèmes de culture.

Figure 28 : Relation entre taux de carbone (o/o) et taux d'azote (o/oo) dans le sol des 59 sites d'expérimentation.

Figure 29 : Relation entre la capacité d'échange cationique (en meq/100 g. de sol) et l'azote organique hydrolysable distillable (NHD en ppm) dans le sol des 59 sites.

Figure 30 : Relations entre historique cultural des parcelles et taux de carbone dans le sol.

Figure 31 : Relation entre historique cultural des parcelles et la teneur en potassium et magnésium dans la solution du sol (en meq/100 g. de sol).

Figure 32 : Relation entre les rendements obtenus dans les pots témoins et le taux d'azote dans le sol.

Figure 33 : Relation entre les rendements obtenus dans les pots témoins et la teneur en magnésium du sol.

Figure 34 : Rendements en coton en fonction de la date de semis et des contraintes sol (1988).

Figure 35 : Rendements en maïs en fonction de la date de semis et des contraintes sol (1988).

Figure 36 : Courbes de satisfaction des besoins en eau des cultures dans différentes situations (1988).

Figure 37 : Relation entre ETR Cycle du cotonnier et les rendements obtenus.

Figure 38 : Relation entre rendements obtenus et densités dans les sites cultivés en cotonnier en 1988.

Figure 39 : Relations entre rendements obtenus et taux de carbone dans les différentes unités de sol des sites cultivés en cotonnier en 1988.

Figure 40 : Efficacité de la fumure minérale en fonction du potentiel (rendement NPK) dans les tests cultivés en coton en 1988.

Figure 41 : Efficacité des apports de matière organique sur la culture de maïs en Kg/ha en 1988 sans engrais ou avec fumure minérale en fonction du taux de carbone dans le sol (en %).

Figure 42 : Efficacité des apports de matière organique sur la culture de maïs en Kg/ha en 1988 sans engrais ou avec fumure minérale en fonction de la quantité de bases échangeables apportées en Kg/ha.

LISTE DES TABLEAUX INSERES DANS LE TEXTE

Tableau 1 : Superficies en hectares des différentes unités de sol dans les parcelles cultivées dans les deux villages.

Tableau 2 : Superficies en hectares (total des deux villages) des différentes unités de sol dans les parcelles cultivées par les différents groupes ethniques.

Tableau 3 : Données quantitatives concernant les trois unités de sol dans les parcelles occupées par les résidents des villages de TIORO et DOHOUN.

Tableau 4 : Données qualitatives sur les trois unités de sol exprimées en pourcentage des réponses.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les prélèvements de sol des sites d'essai et présentés par unité de sol.

Tableau 6 : Population de DOHOUN, TIORO et KARBA

Tableau 7 : Données générales sur l'occupation du sol des trois villages étudiés.

Tableau 8 : Données générales sur les exploitations des trois villages étudiés.

Tableau 9 : Données générales sur l'utilisation de la culture attelée dans les exploitations des trois villages étudiés.

Tableau 10 : Estimation des phénomènes de transfert de fertilité dans les différents types de champ (SEDOGO 1981).

Tableau 11 : Evolution de quelques paramètres chimiques dans un sol en culture continue, observés dans l'essai "Entretien de la Fertilité" de SARIA (PICHOT 1981).

Tableau 12 : Résultats descriptifs de l'enquête d'analyses de sol dans 123 parcelles paysannes (Programme COTON INERA).

Tableau 13 : Résultats d'analyses de sol sur les essais "Réponse à l'engrais" de BONI (Programme COTON INERA).

Tableau 14 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton et fonctions de production dans les essais "Réponse à l'engrais" à BONI en 1985 (Programme COTON INERA).

Tableau 15 : Evolution des propriétés chimiques du sol dans les essais CFJA au cours des 5 cycles de culture (Programme COTON INERA).

Tableau 16 : Résultats des cultures en pots présentés pour l'ensemble des sites et ensuite par unité de sol en grammes de matière sèche de fonio par micro-pot (coupe à 3 semaines).

Tableau 17 : Résultats de rendement en Kg/ha des essais "Matière Organique" dans les sites d'essais.

Tableau 18 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des essais "Fertilisation" dans les sites d'essais.

Tableau 19 : Résultats de rendement en Kg/ha de maïs des essais "Fertilisation" dans les sites d'essais.

Tableau 20 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à l'engrais en 1988.

Tableau 21 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse en 1989.

Tableau 22 : Valeurs des pH EAU des sols rencontrés dans le dispositif (valeurs moyennes et minimales).

Tableau 23 : Valeurs moyennes des taux d'argile (en %) de carbone (en %), d'azote (en o/oo) et de la CEC (en meq/100 gr.) par unité de sol.

Tableau 24 : Paramètres analytiques (moyennes) en fonction des sols dégradés physiquement et les sols non dégradés actuellement.

Tableau 25 : Principales relations positives (+) ou négatives (-) significative (* ou **) entre l'âge de la parcelle et les caractéristiques physico-chimiques des sites d'essai.

Tableau 26 : Principales relations positives (+) ou négatives (-) significatives (* ou **) entre les rendements obtenus dans les pots témoins et les caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol.

Tableau 27 : Moyennes des paramètres chimiques dans les quatre classes de rendement définies par les pots témoins.

Tableau 28 : Rendements obtenus dans les pots en fonction des seuils et valeurs critiques des caractéristiques physico-chimiques des sites d'expérimentation.

Tableau 29 : Moyennes des résultats des cultures en pots dans les quatre classes de potentiel définies.

Tableau 30 : Eléments du calcul des bilans hydriques du maïs dans les différents sites d'essais en 1988 (Rendement du traitement "NPK" en Kg/ha).

Tableau 31 : Eléments du calcul des bilans hydriques du cotonnier dans les différents sites d'essais en 1988 (Rendement du traitement "NPK" en Kg/ha).

Tableau 32 : Moyennes des rendements en coton et maïs au champ (en Kg/ha) en fonction des quatre classes de potentiel définies.

Tableau 33 : Efficience de l'engrais minéral suivant les unités de sol rencontrées en 1988 dans tous les essais et tests.

Tableau 34 : Valeurs particulières (faibles et fortes) de l'efficience de la fumure minérale dans les expérimentations conduites en 1988.

Tableau 35 : Efficiences moyennes observées sur coton et maïs en 1988 dans les essais au champ (en Kg/ha) en fonction des quatre classes de potentiel définies.

Tableau 36 : Nutrition minérale du cotonnier appréciée par le diagnostic foliaire à 70 jours de la levée : valeurs des fonctions de production pour N, P, K et S. Essais "Matière Organique" et Essais "Fertilisation" en 1989.

Tableau 37 : Nutrition minérale du cotonnier appréciée par le diagnostic foliaire à 70 jours de la levée : valeurs des fonctions de production pour N, P, K et S. Tests de Réponse à l'Engrais en 1989

Tableau 38 : Ecart en jours entre les dates de semis et celles des épandages d'engrais.

Tableau 39 : Comparaison de l'efficience de l'urée seule appliquée en couverture avec la fumure complète dans les différentes unités de sol pour les cultures en 1988.

Tableau 40 : Effet des apports de matière organique (5 Tonnes/ha) sur :

- le nouveau taux de carbone du sol (en %)
- la quantité de bases échangeables apportées (en Kg/ha)
- l'efficience exprimée en Kg/ha de maïs supplémentaire récolté en 1988.

Tableau 41 : Efficience des apports de matière organique exprimée en Kg/ha de coton supplémentaire récolté en 1989 pour 5 Tonnes/ha de fumier en 1988 (arrière-effet).

BIBLIOGRAPHIE

"Atlas de la Haute-Volta" 47 p. ; Edition Jeune Afrique ; Paris ; 1975.

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M., 1984-1985.
"Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidence sur les ressources en eau et les productions végétales". Cahiers ORSTOM, sér. Hydrologie vol XXI, n°1, 1984-1985 : 17p.

ANGE A. (1984). "Les contraintes de la culture cotonnière dans le système agraire de Haute Casamance au Sénégal ; tome 1 : Analyse des difficultés du projet de développement. Diagnostic des contraintes par les réseaux d'essais agronomiques ; tome 2 : Diagnostic des contraintes par l'analyse des paysages agraires, des structures sociales de production et du comportement de la culture sous les itinéraires techniques pratiqués par le paysannat." ; Thèse de Docteur-Ingénieur, géologie appliquée, Paris, INA Grignon, 765 p.

BARLET P. (1962). "La Haute-Volta - Essai de Présentation Géographique" ; Etudes Voltaïques, Centre IFAN-ORSTOM, mémoire n°3, 1962, 77 p.

BAUDET G. et CAUQUE R. (1986). "Les modelés cuirassés des savanes du Burkina Faso (Afrique Occidentale)" ; Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, vol 27, Fasc 3-4, p. 213-224 ; Paris.

BELEM C. (1985). "Coton et Systèmes de Production dans l'Ouest du Burkina Faso" ; 344 p. ; thèse de 3^{ème} cycle en géographie de l'Aménagement ; Université Paul Valéry ; Montpellier.

BELEM, BERGER, KILIAN, LAINE, MORANT (1988). "Recherche sur l'insertion des systèmes de culture dans la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso à partir des données SPOT" 18 p. ; CIRAD - INERA.

BELEM, BERGER, KILIAN, LAINE, MORANT, SANOU (1989). "Burkina Faso, Région de HOUNDE. Carte des états de surface : évaluation de l'emprise agricole" - Carte au 1/100.000 de l'image SPOT K50 J327 du 11 mai 1987 - ATP Télédétection CIRAD-INERA.

BENOIT M. (1977). "Mutation agraire dans l'Ouest de la Haute-Volta" ; Cahiers ORSTOM, sér. Sci. hum., vol. XIV, n°2, 1977 ; 95-111.

BERGER M., BELEM C., DAKOUO D., HIEN V. (1987). "Le maintien de fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage". Coton et Fibres Tropicales, vol. XLII, fasc. 3, pages 201 à 210.

BOYER J. (1982). "Les sols ferrallitiques ; tome X ; facteurs de fertilité et utilisation des sols" ; ORSTOM Initiations-Documentations Techniques N° 52, 384 p.

BRAUD M. (1987). "La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes". Coton Fibres Tropicales, série Documents, études et synthèses, 35 p.

BRAUD M., JOLY A. (1980). "Contribution à l'étude de la détermination des déficiences minérales du cotonnier par analyses foliaires". 5^{ème} Colloque International sur le Contrôle de l'Alimentation des Plantes Cultivées, Castel-Franco.

CAPRON J. (1973). "Communautés villageoises BWA - Mali Haute-Volta" ; Institut d'ethnologie, Paris.

CHARREAU C., NICOU R. (1971). "L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques". Paris, IRAT, 254 p. (Bulletin Agronomique n°23).

CHARREAU C. et FAUCK R. (1970). "Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance)" ; L'Agronomie Tropicale, XXV, p. 151 à 191.

CISSE L. (1986). "Etude des effets d'apport de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux de la production de mil et d'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal. Thèse de doctorat. INPL, Nancy, 184 p.

DAVEAU S., LAMOTTE M., ROUGERIE G. (1962). "Cuirasses et Chaînes Birrimiennes en Haute-Volta" ; Annales de Géographie Septembre-Octobre 1962, p. 460-482.

DELBOSC G. (1967). "Etudes sur la régénération de la fertilité du sol dans la zone arachidière du Sénégal" ; Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux ; Tananarive 1967.

DUCHAUFOUR (1983). "Pédologie Tome I : Pédogénèse et Classification" ; 491 p. ; Masson.

DUGUE P. (1989). "Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga (Burkina Faso)" ; Thèse de Docteur Ingénieur en Sciences Agronomiques, ENSAM, Montpellier, 267p.

EMMERSON W.W. (1967). "A classification of soil aggregates, based on their coherence in water" ; Austr. J. Soil Res., 5 (1), p. 47 à 57.

FAUCK R., MOUREAUX C., THOMANN C. (1969). "Bilans de l'évolution des sols de SEFA (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture ; L'Agronomie Tropicale XXIV, p. 263 à 296.

GASSER J.K.R. (1961). "Correlation between Laboratory Measurements of Soil Mineral-N and Crop Yields and Responses in Pot and Field Experiments" ; J. Sci. Food Agric., 12, August, 1961, p. 562 à 573.

JONES M.J. et WILD A. (1975). "Soils of the West African Savanna" ; Technical Communication N° 55, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, 246 p.

JONES M.J. (1976). "The significance of crop residues to the maintenance of fertility under continuous cultivation at SAMARU, Nigéria ; J. Agric. Sci. 77 (3), p. 473 à 482.

GODEFROY J., JACQUIN F. (1975). "Influence de la végétation sur l'humification en sol ferralitique" ; Cah. ORSTOM, série Pédol., vol XIII, n° 3/4, 279-298.

GREENLAND D.J. et LAL R. (1977). "Soil Conservation et Management in the Humid Tropics" ; John Wiley & Sons, 283 p.

GUILLOBEZ S. (1985). "L'analyse en composantes principales et le traitement de l'imagerie Landsat. Cas d'une région tropicale" ; L'agronomie Tropicale 1985, 40-2, 8p.

HIEN V., (1990). "Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferralitique du BURKINA FASO". Thèse de doctorat, Sciences Agronomiques, INPL, Nancy, 149 p.

KILIAN J. (1989). "Cartographic technics using satellite data for agricultural environment" ; Remote sensing seminar, Brunei, 20-21 septembre 1989 ; 17p.

LADMIRANT H. et LEGRAND J.M. (1977). "Carte Géologique au 1/200.000 de HOUNDE" (avec notice explicative) ; République de Haute-Volta, Direction de la Géologie et des Mines.

LAINE, BELEM, BERGER, KILIAN, MORANT (1989). "L'analyse multivariate des données du satellite SPOT pour identifier les cultures dans deux terroirs de la zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso" . Coton et Fibres Tropicales, 1989, vol XLIV, fasc 4, p291 à 303.

LAMBIN E. (1988). "Apport de la télédétection satellitaire pour l'étude des systèmes agraires et la gestion des terroirs en Afrique Occidentale. Exemples au Burkina Faso." ; Thèse de Docteur en Sciences - Université Catholique de Louvain.

LAUDELOUT H. et VAN BLADEL R. (1967). "La jachère naturelle en région tropicale humide" ; Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux ; Tananarive 19-25 novembre 1967.

LE MOAL G. (1976). "Le peuplement du pays Bobo - Bilan d'une enquête" ; Cahiers ORSTOM, sér. Sci. hum., vol. XIII, n°2, 1976 ; 137-142.

LEPRUN J.C. et MOREAU R. (1970). "Carte Pédologique de Reconnaissance de la République de Haute-Volta au 1/500.000 - Région OUEST-NORD" (avec rapport de synthèse); ORSTOM ; DAKAR.

MORANT P. (1986). "L'utilisation des phosphates naturels de KODJARI et de la matière organique dans la fertilisation des systèmes de culture au BURKINA FASO". DEA de Sciences Agronomiques, INPL, Nancy, 58 p.

MORANT, BELEM, BERGER, KILIAN, LAINE, SANOU. (1989). "Evaluation cartographique de l'emprise agricole sur le milieu physique à partir des données satellitaires SPOT dans la région de HOUNDE au BURKINA FASO". Actes des Journées de la DRN - Montpellier, Septembre 1989- 11 pages- à paraître

MORANT P. (1988). "Milieu Physique et Humain - Région de HOUNDE-BEREBA" ; 17 p. avec cartes et graphiques ; INERA (document interne).

PALLIER G. (1978). "Géographie Générale de la Haute-Volta" 228 p.; Publication de l'U.E.R. des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de Limoges avec le concours du Centre National de la Recherche Scientifique.

PICHOT J. (1978). "Rôle de la matière organique dans la fertilité du sol" ; L'Agronomie Tropicale, XXX, p. 170 à 174.

PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J. (1981). "Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence des fumures minérales et organiques". L'Agronomie Tropicale, XXXVII,2, pages 122 à 133.

PIERI C. (1989) (a). "Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara". Ministère de la Coopération et CIRAD, La Documentation Française, Paris, 444 p.

PIERI C. (1989) (b). "Bilan organique des terres cultivées dans les savanes au sud du Sahara". Thèse de doctorat, Sciences Agronomiques, INPL, Nancy, 128 p.

POULAIN J.F., SEDOGO M., OUALI F., MORANT P. (1978). "La démarche système en agronomie. Essai de définition des zones homogènes en Haute-Volta. Propositions de systèmes de culture vulgarisables. Approche d'une cartographie." Communication au colloque ORSTOM-CVRS "Maîtrise de l'espace agraire et développement en Afrique au sud du Sahara" tenu à Ouagadougou en décembre 1978, 13 p.

RETEL-LAURENTIN A. (1979). "Causes de l'infécondité dans la Volta Noire" ; INED Travaux et Documents, cahier n° 87, Presses Universitaires de France, Paris.

SANCHEZ P.A. (1976). "Properties and Management of Soils in the Tropics" ; John Wiley & Sons, 618 p.

SAVONNET G. (1960). "Un système de culture perfectionnée, pratiqué par les Bwaba Bobo-Oulé de la région de Houndé (Haute-Volta)" ; Etudes Voltaïques, Centre IFAN-ORSTOM, mémoire n°1, 1960, p. 19 à 52.

SEDOGO M.P. (1981). "Contribution à la valorisation des résidus cultureux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures)". Thèse de Docteur-Ingénieur, Sciences Agronomiques, INPL, Nancy, 198 p.

SEMENT G. (1980). "Etude des effets secondaires de la fertilisation minérale sur le sol dans des systèmes cultureux à base de coton en Côte d'Ivoire. Premiers résultats en matière de correction" ; Coton et Fibres Tropicales, vol. XXXV, fasc. 2, 229-248.

SIBAND P. (1972). "Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute Casamance ; principaux résultats" ; L'Agronomie Tropicale, XXVII, p. 574 à 591.

"Sols et eaux. Acquis et perspectives de la Recherche Agronomique Française en zone intertropicale". (1987). Actes du séminaire tenu à la Banque Mondiale les 15 et 16 mai 1986.

STOOP W.A. (1987). "Variations in Soil Properties Along Three Toposequences in Burkina Faso and Implications for the Development of Improved Cropping Systems ; Agriculture Ecosystems et Environment, 19, 241-264.

VON MAYDELL H.J. (1983). "Arbres et arbustes su Sahel" 531 p. avec nombreuse photos ; Office Allemand de la Coopération Technique (GTZ) ; Eschborn.

ANNEXES :

Annexe 1 : Moyennes mobiles sur la pluviométrie de HOUNDE entre 1922 et 1989 (mai à octobre) et pluviométrie annuelle (janvier à décembre).

Annexe 2 : Caractérisation des exploitations dans les villages de TIORO et de DOHOUN.

Annexe 3 : Caractérisation des exploitations (suite) dans les villages de TIORO et de DOHOUN.

Annexe 4 : Conditions de réalisation des essais en 1988

Annexe 5 : Conditions de réalisation des essais en 1989

Annexe 6 : Conditions de réalisation des tests de réponse à la fumure en 1988

Annexe 7 : Résultats de rendement des essais "Matière Organique" en 1988 et 1989

Annexe 8 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des essais "Fertilisation" en 1988 et 1989

Annexe 9 : Résultats de rendement en Kg/ha de maïs des essais "Fertilisation" en 1988 et 1989

Annexe 10 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fumure en 1988

Annexe 11 : Conditions de réalisation et résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fumure en 1989

Annexe 12 : Résultats de rendement sur les unités de sol

Annexe 13 : Résultats des analyses minérales et chimiques effectuées sur les échantillons de fumier utilisé dans les essais "Matière organique".

Annexe 1 : Moyennes mobiles sur la pluviométrie de HOUNDE entre 1922 et 1989 (mai à octobre) et pluviométrie annuelle (janvier à décembre).

	TOTAL	M 3AN	M 5AN	MPOND	TOTAL ANNUEL
1922	1287,0				
1923	795,3	965			886,6
1924	812,4	886	923		846,6
1925	1049,0	845	817		1080,2
1926	672,9	826	878	790	697,1
1927	756,8	842	905	753	851,5
1928	1097,7	935	895	913	1156,5
1929	950,0	1016	931	919	1050,0
1930	1000,0	934	993	943	1000,0
1931	852,0	972	971	887	896,5
1932	1063,0	968	970	963	1102,7
1933	988,0	999	995	958	1151,0
1934	945,5	1019	1004	937	997,5
1935	1124,2	989	935	1015	1201,2
1936	896,9	914	952	943	977,4
1937	720,5	897	946	815	746,5
1938	1072,5	903	936	928	1127,3
1939	914,8	1020	914	907	1108,2
1940	1073,7	926	950	973	1097,7
1941	790,5	921	919	868	868,7
1942	899,9	868	916	872	1002,8
1943	914,6	906	938	877	979,1
1944	902,1	1000	1006	875	945,1
1945	1184,3	1072	1010	1013	1247,5
1946	1129,8	1078	1018	1059	1180,5
1947	919,9	1001	1040	975	921,3
1948	952,2	962	988	950	1058,2
1949	1015,2	963	1034	968	1172,1
1950	921,5	1100	1075	926	937,0
1951	1362,9	1136	1071	1127	1422,1
1952	1123,8	1140	1106	1111	1183,1
1953	933,1	1081	1129	1007	975,3
1954	1186,3	1054	1030	1081	1242,3
1955	1041,3	1032	1026	1047	1179,3
1956	867,0	1004	1029	936	992,3
1957	1104,2	972	933	1002	1194,2
1958	945,2	920	908	959	1036,1
1959	709,5	856	881	816	712,5
1960	913,7	785	847	848	941,4
1961	730,5	860	868	776	823,9
1962	937,0	906	931	839	1094,3
1963	1049,6	1004	1001	930	1110,6
1964	1023,9	1113	1030	966	1104,2
1965	1265,8	1055	1000	1101	1275,6
1966	875,3	976	953	977	954,9
1967	787,6	824	957	868	832,0
1968	810,4	882	901	823	982,7
1969	1047,0	947	931	919	1149,3
1970	983,7	1019	959	931	1008,7
1971	1025,8	979	941	965	1072,5
1972	927,6	891	916	934	1034,0
1973	718,9	857	889	814	751,4
1974	923,3	830	834	852	983,5
1975	847,9	841	795	835	938,7
1976	750,4	778	813	777	817,4
1977	736,7	765	823	742	740,6
1978	807,9	839	854	764	885,1
1979	972,1	927	874	854	1084,4
1980	1000,5	942	850	914	1052,4
1981	852,7	824	835	872	915,4
1982	619,2	734	781	734	735,3
1983	730,9	683	784	720	772,7
1984	699,3	816	824	694	715,2
1985	1016,7	923	839	840	1042,2
1986	1051,5	922	880	932	1136,1
1987	696,8	895	914	805	698,8
1988	937,0	834		860	
1989	867,2			852	998,1
				OY 23-87	930,6

Annexe 2 : Caractérisation des exploitations dans les villages de TIORO et de DOHOUN.

		SUP	COTON	MAIS	SORG	MIL	RVIV	SHAB	SCH	RMIN	EFF.
TIORO		3,44	0,82	0,22	1,94	0,46	83	0,40	0,10	811	94
DOHOUN		3,45	1,36	0,73	1,02	0,12	62	0,53	0,21	979	261
KARBA		4,35	2,25	1,19	0,80	0,02	48	0,46	0,24	895	178
<hr/>											
AUTOCHTONES		3,48	1,66	0,92	0,56	0,14	55	0,60	0,26	939	156
MIGRANTS		3,41	0,87	0,34	1,81	0,27	78	0,41	0,11	930	200
<hr/>											
CM	0 ou 1 ANI	2,30	0,67	0,33	1,06	0,19	74	0,44	0,14	948	231
CA	2 ANI et +	5,54	2,22	1,07	1,65	0,26	58	0,58	0,25	911	125
<hr/>											
AUT1	SUP <2	1,29	0,46	0,35	0,36	0,07	65	0,46	0,15	1188	42
AUT2	SUP 2-3	2,27	0,87	0,60	0,43	0,18	59	0,59	0,21	938	34
AUT3	SUP 3-4	3,33	1,41	0,85	0,60	0,19	56	0,63	0,28	747	29
AUT4	SUP 4-5	4,36	2,31	1,22	0,50	0,11	47	0,71	0,37	772	16
AUT5	SUP >5	7,13	3,85	1,89	0,93	0,16	44	0,68	0,38	897	34
<hr/>											
MIG1	AN >15	4,33	1,39	0,89	1,35	0,23	66	0,53	0,19	803	22
MIG2	AN 13-15	6,25	1,99	0,86	2,86	0,14	71	0,59	0,18	704	21
MIG3	AN 10-12	3,34	0,92	0,21	1,88	0,26	75	0,44	0,14	838	21
MIG4	AN 7-9	2,90	0,77	0,18	1,44	0,39	81	0,37	0,10	1294	24
MIG5	AN 4-6	4,09	0,81	0,19	2,51	0,53	79	0,42	0,10	861	40
MIG6	AN 0-3	2,10	0,43	0,19	1,38	0,13	82	0,33	0,10	984	72

AUT = classe d'autochtones (1 à 5 suivant superficie croissante)

MIG = classe d'allochtones (1 à 6 suivant la date d'arrivée)

SUP = superficie totale de l'exploitation

COTON, MAIS, SORG, MIL = superficie en ha des différentes cultures

RVIV = rapport entre superficies en cultures vivrières et en culture de rente (coton)

SHAB = superficie cultivée par habitant

SCH = superficie cultivée en coton par habitant

RMIN = rendement minimum estimé en Kg/ha de céréales (maïs, sorgho, mil) pour assurer l'autosuffisance alimentaire de la famille à raison de 200 Kg de céréales/habitant/an.

EFF = nombre d'exploitations du village

CA = culture attelée bovine

CM = culture manuelle

AN = ancienneté dans le village pour les migrants (en années)

Annexe 3 : Caractérisation des exploitations (suite) dans les villages de TIORO et de DOHOUN.

		SUP.	SHAB	SCH	ANI	EQU	PERS	CHAM	PARC	EFF.
ENSEMBLE		3,44	0,49	0,18	0,4	0,4	8,1	1,2	2,9	356
DOHOUN		3,45	0,53	0,21	0,4	0,4	7,7	1,1	3	261
TIORO		3,44	0,4	0,1	0,5	0,4	9,4	1,4	2,8	94
AUTOCHTONES		3,48	0,6	0,26	0,5	0,5	6,8	1,1	3,2	156
MIGRANTS		3,41	0,41	0,11	0,4	0,4	9,2	1,2	2,7	200
CM	0 ou 1 ANI	2,3	0,44	0,14	0	0,1	6,4	1,1	2,5	231
CA	2 ANI et +	5,54	0,58	0,25	1,25	1	11,3	1,4	3,7	125
AUT1	SUP <2	1,29	0,46	0,15	0,05	0,1	4	1	2,2	42
AUT2	SUP 2-3	2,27	0,59	0,21	0,15	0,3	4,6	1,1	3	34
AUT3	SUP 3-4	3,33	0,63	0,28	0,45	0,6	6,7	1,2	3,8	29
AUT4	SUP 4-5	4,36	0,71	0,37	0,95	0,8	7,5	1,3	3,8	16
AUT5	SUP >5	7,13	0,68	0,38	1,25	1	12,6	1,3	3,9	34
MIG1	AN >15	4,33	0,53	0,19	0,6	0,6	10,2	1,3	3,7	22
MIG2	AN 13-15	6,25	0,59	0,18	1,1	0,8	11,8	1,6	3,7	21
MIG3	AN 10-12	3,34	0,44	0,14	0,5	0,4	9,3	1,3	3	21
MIG4	AN 7-9	2,9	0,37	0,1	0,4	0,4	8,7	1,2	2,6	24
MIG5	AN 4-6	4,09	0,42	0,1	0,4	0,4	10,7	1,3	2,8	40
MIG6	AN 0-3	2,1	0,33	0,1	0,1	0,1	7,3	1,1	2	72

AUT = classe d'autochtones (1 à 5 suivant superficie croissante)
 MIG = classe d'allochtones (1 à 6 suivant la date d'arrivée)
 SUP = superficie totale de l'exploitation
 SHAB = superficie cultivée par habitant
 SCH = superficie cultivée en coton par habitant
 ANI = nombre de paire de boeufs
 EQU = équipement en matériel agricole
 PERS = nombre de personnes dans l'exploitation
 CHAM = nombre de champs
 PARC = nombre de parcelles
 EFF = nombre d'exploitations du village
 AN = ancienneté dans le village pour les migrants

Annexe 4 : Conditions de réalisation des essais en 1988
(les dates sont exprimées en nombre de jours après le 1er janvier)

Essais "Matière Organique" en maïs

SITES	SOL	ANNEES	VARIETE	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
47	LABORO	2	SR22	169	195	209
48	LABORO	13	SR22	166	181	
56	LABORO	9	SR22	164	179	204
59	HANDE	16	SR22	171	187	211
53	HANDE	12	SR22	171	187	211
58	HANDE	15	POZARICA	159	173	193
57	SANSANA	15	POZARICA	170	186	205
51	SANSANA	6	SR22	158	175	201
50	SANSANA	12	SR22	157	166	192
54	SANSANA	9	SR22	185	194	211
55	LABOROB	3	SR22	171	189	211

Essais "Fertilisation" Maïs

SITES	SOL	ANNEES	VARIETE	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
2	LABORO	3	MASSAYOMBA	171	196	208
11	LABORO	10	POZARICA	173	196	208
10	LABORO	15	POZARICA	159	200	200
12	HANDE	17	SR22	161	189	208
5	HANDE	10	SR22	192	209	
3	HANDE	6	LOCAL	169	187	202
9	SANSANA	7	SR22	179	203	203
7	SANSANA	16	POZARICA	171	194	208
1	SANSANA	8	POZARICA	157	181	200
8	LABOROB	4	POZARICA	163	188	201
6	LABOROB	3	SR22	169	186	201
4	LABOROB	4	SR22	173	193	201

Essais "Fertilisation" Coton

SITES	SOL	ANNEES	VARIETE	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
49	LABORO	3	ISA1	163	185	208
17	LABORO	10	ISA1	161	187	208
18	LABORO	15	ISA1	188	231	231
14	HANDE	17	ISA1	152	185	195
13	HANDE	8	ISA1	178	202	202
22	HANDE	6	L299	159	187	202
16	SANSANA	1	ISA1	185	203	230
19	SANSANA	16	ISA1	158	194	209
52	SANSANA	2	ISA1	159	182	200
21	LABOROB	2	ISA1	157	188	201
15	LABOROB	4	ISA1	167	186	201
20	LABOROB	7	ISA1	157	193	201

Annexe 5 : Conditions de réalisation des essais en 1989

(les dates sont exprimées en nombre de jours après le 1er janvier)

La préparation du sol (PREPA) est codée comme suit : 1 semis direct, 2 scarifiage, 3 labour, 4 labour mécanisé.

Essais "Matière Organique"

	SOL	ANNEE	PREPA	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
47	LABORO	3	2	171	200	220
56	LABORO	10	2	157	195	222
59	HANDE	17	3	157	195	224
53	HANDE	13	1	157	201	220
51	SANSANA	7	3	171	200	221
55	LABOROB	4	2	182	196	219

Essais "Fertilisation" en maïs

	SOL	ANNEE	PREPA	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
49	LABORO	4	2	182	203	210
17	LABORO	11	3	192	205	222
14	HANDE	18	3	177	193	206
19	SANSANA	17	2	185	201	209
52	SANSANA	3	1	174	195	207
21	LABOROB	3	2	164	192	202
15	LABOROB	5	2	167	191	202
20	LABOROB	8	2	172	192	201

Essais "Fertilisation" en coton

	SOL	ANNEE	PREPA	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
2	LABORO	4	1	173	203	210
11	LABORO	11	1	181	205	222
12	HANDE	18	4	188	206	221
7	SANSANA	17	2	177	201	209
1	SANSANA	9	1	167	195	207
8	LABOROB	5	2	156	192	202
6	LABOROB	4	3	153	186	202
4	LABOROB	5	2	164	192	201

Annexe 6 : Conditions de réalisation des tests de réponse à la fumure en 1988

En culture attelée

SITES	SOL	ANNEES	VARIETE	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
38	SANSANA	4	ISA1	173	194	203
46	SANSANA	4	ISA1	159	192	209
33	SANSANA	5	ISA1	166	208	208
40	LABORO	8	ISA1	152	192	208
35	LABORO	8	ISA1	165	196	196
45	LABORO	8	ISA1	161	196	208
30	HANDE	16	ISA1	156	194	202
24	HANDE	8	ISA1	173	196	202
44	HANDE	1	L299	152	186	195
31	LABOROB	5	ISA1	155	193	201
41	LABOROB	4	ISA1	161	188	201
32	LABOROB	2	ISA1	158	188	201

En culture manuelle

SITES	SOL	ANNEES	VARIETE	DATES		
				SEMIS	NPK	UREE
39	SANSANA	4	ISA1	171	201	209
29	SANSANA	3	ISA1	160	194	203
25	SANSANA	4	ISA1	153	192	209
28	LABORO	10	ISA1	157	208	208
36	LABORO	8	ISA1	146	200	209
34	LABORO	7	ISA1	166	208	208
43	HANDE	18	ISA1	152	195	202
27	HANDE	1	ISA1	176	202	202
42	HANDE	16		163	194	202
37	LABOROB	4	ISA1	168	193	201
26	LABOROB	4	ISA1	159	193	206
23	LABOROB	1	ISA1	166	201	201

Annexe 7 : Résultats de rendement des essais "Matière Organique" :

- en Kg/ha de maïs en 1988
- en Kg/ha de coton en 1989

1988 MAIS SITES SOL	TEMOIN	NPK	MO SEU	MO+NPK	MOYEN C.V.%	ETM
47 2	1414 B	3099 A	1458 B	3576 A	2387 16,9	233
48 2	1893 B	5182 A	1693 B	4635 A	3351 24,2	468
56 2	2049 B	4766 A	2586 B	5555 A	3739 16,3	352
59 3	1466 C	3307 B	1979 C	4107 A	2715 10,5	165
53 3	1919 C	3654 AB	2812 BC	4479 A	3216 18,4	342
58 3	719 B	1656 A	462 B	2038 A	1219 28,7	202
57 1	3464 B	5320 A	4096 B	6190 A	4768 11,9	328
51 1	2924 B	5138 A	3177 B	5651 A	4223 15,4	375
50 1	3195 C	4799 B	4237 B	6224 A	4614 9,5	253
54 1	1536 B	3029 A	1823 B	3508 A	2474 15,2	217
55 22	1867 C	2995 AB	2586 BC	3664 A	2778 13,8	221

1989 COTON SITES SOL	TEMOIN	NPK	MO SEU	MO+NPK	MOYEN C.V.%	ETM
47 2	781 B	1503 AB	1128 B	1919 A	1333 21,9	169
56 2	1128 C	1971 A	1503 B	1909 A	1628 10,5	99
59 3	997 D	1701 B	1346 C	2102 A	1537 4,9	43
53 3	1042 B	2031 A	1328 B	2091 A	1623 13,9	130
51 1	1424 C	2109 A	1737 B	1979 A	1812 5,6	59
55 22	721 C	1034 B	794 C	1297 A	962 7,5	42

Annexe 8 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des essais Fertilisation en 1988 et 1989.

1988 SITES SOL	TEMOIN	COTON SERIE I NPK	TIMAC	UREE	MOYEN C.V.%	ETM
49 2	1935	1919	2031	1849	1934 14,6	163
17 2	1406	1607	1727	1536	1569 9,4	85
18 2						
14 3	1062 C	1458 A	1307 B	1010 C	1210 5,8	41
13 3	930 B	1414 A	1232 AB	1112 AB	1172 12,6	85
22 3	1388	1654	1792	1505	1585 16,5	151
16 1	508	1047	904	560	755 30,8	134
19 1	1146	1094	1185	1068	1123 13,2	86
52 1	1667 B	2592 A	2314 A	1778 B	2087 10,9	131
21 22	943 C	1701 A	1349 B	1010 C	1251 10,2	74
15 22	1740	2201	1987	1568	1874 16,8	182
20 22	1359 A	2083 A	2091 A	1570 A	1776 14,9	153

1989 SITES SOL	TEMOIN	COTON SERIE II NPK	TIMAC	UREE	MOYEN C.V.%	ETM
2 2	625 C	1608 A	1237 B	885 C	1089 14,4	91
11 2	430 AB	604 A	633 A	266 B	483 25,3	71
12 3	417 B	841 A	763 A	763 A	696 19,8	80
7 1	1021	1362	1693	1281	1339 23,8	184
1 1	1492 B	2156 A	2065 A	1711 AB	1856 10,2	109
8 22	983 B	1672 A	1385 AB	1224 B	1316 13,5	103
6 22	651 B	1607 A	1576 A	924 B	1190 26,2	180
4 22	1042 B	1414 A	1367 A	917 B	1185 10,2	70

Annexe 9 : Résultats de rendement en Kg/ha de maïs des essais
fertilisation en 1988 et 1989

1988 SITES SOL		MAIS SERIE II				MOYEN C.V.% ETM		
		TEMOIN	NPK	TIMAC	UREE			
2	2	2135 B	3594 A	3784 A	3307 A	3205	14,7	272
11	2	2266 B	4940 A	3977 A	3836 A	3755	13,5	293
10	2	1596 C	3534 A	3177 AB	2456 B	2691	14,8	230
12	3	2370	2820	2943	2023	2539	40,9	600
5	3	1440 B	1805 AB	2318 A	1180 B	1686	19,2	187
3	3	2492	3404	3221	2977	3023	12,4	216
9	1	1701	2664	2727	2466	2389	30,2	417
7	1	3861	4806	6453	5536	5164	32,0	954
1	1	3408 B	6278 A	5703 A	5703 A	5273	6,7	204
8	22	5719	5763	5521	5599	5650	5,5	179
6	22	2318 B	3620 AB	3924 A	3549 AB	3353	16,4	317
4	22	1935 A	4349 A	4211 A	3065 A	3390	26,3	515

1989 SITES SOL		MAIS SERIE I				MOYEN C.V.% ETM		
		TEMOIN	NPK	TIMAC	UREE			
49	2	3315	3482	3133	3099	3257	11,1	209
17	2	2734	3289	3612	3654	3322	24,5	470
14	3	1414 C	3672 A	2987 AB	2336 B	2602	17,0	255
19	1	1779 B	3307 A	3185 A	2336 AB	2652	15,4	236
52	1	1424 C	3732 A	2987 AB	2091 BC	2559	24,4	360
21	22	2690 BC	4132 A	3438 AB	2247 C	3127	13,4	242
15	22	2846 C	4844 A	4081 AB	3299 BC	3768	12,4	270
20	22	1875 B	3628 A	3325 A	2526 AB	2839	18,3	300

Les rendements affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents
Les sols sont codés comme suit :

- 1 sansana
- 2 laboro
- 22 laboro-bondé
- 3 handé

Annexe 10 : Résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fumure en 1988

En culture attelée

SITES	SOL	TEMOIN	NPK	MOYEN	CHAMP*
38	1	807	1719	1263	1042
46	1	430	820	625	729
33	1	1458	2604	2031	2240
40	2	1380	2109	1745	1589
35	2	677	1302	990	1172
45	2	1172	1719	1445	1432
30	3	1497	1823	1660	1159
24	3	911	1615	1263	1432
44	3	951	1641	1296	1328
31	22	1797	1771	1784	1810
41	22	1146	1797	1471	1185
32	22	807	1615	1211	1771

En culture manuelle

SITES	SOL	TEMOIN	NPK	MOYEN	CHAMP*
39	1	339	521	430	495
29	1	964	1224	1094	1224
25	1	889	1222	1056	1167
28	2	339	859	599	365
36	2	1641	1901	1771	1771
34	2	651	1198	924	781
43	3	911	1042	977	1198
27	3	651	690	671	716
42	3	1562	1901	1732	1484
37	22	1237	1576	1406	1367
26	22	1510	1979	1745	1589
23	22	625	833	729	990

* le rendement champ a été mesuré dans une parcelle élémentaire de même superficie à l'intérieur de la parcelle cultivée.

Annexe 11 : Conditions de réalisation et résultats de rendement en Kg/ha de coton des tests de réponse à la fumure en 1989

En culture manuelle

SITES	SOL	ANNEE PRECEDENT		DATES			RENDEMENTS	
				SEMIS	NPK	UREE	TEMOIN	NPK
188	SANSANA	15	SORGHO	152	203	231	189	540
109	SANSANA	10	SORGHO	171	205	223	254	859
276	LABORO	8	SORGHO	165	209	224	378	970
101	SANSANA	14	MAIS	170	209	223	391	1165
103	SANSANA	7	MAIS	170	205	221	442	1270
117	SANSANA	5	MAIS	164	206	221	443	1068
216	SANSANA	10	SORGHO	178	205	223	469	1380
108	SANSANA	2	COTON	157	205	215	482	924
329	LABORO	7	SORGHO	171	201	220	547	1393
124	SANSANA	3	COTON	163	203	222	560	1224
112	SANSANA	3	MAIS	170	203	223	573	1100
125	SANSANA	1	JACHERE	154	205	220	612	1107
97	SANSANA	14	MAIS	171	206	223	632	1510
279	SANSANA	9	SORGHO	167	210	224	651	1257
193	SANSANA	8	MAIS	157	206	213	677	918
131	LABORO	3	COTON	158	207	217	716	1309
133	SANSANA	3	COTON	158	207	217	755	1081
132	SANSANA	9	MAIS	156	206	220	775	1764
138	SANSANA	11	SORGHO	175	205	224	807	1823
997	SANSANA	3	SORGHO	154	206	213	833	1276
249	SANSANA	16	SORGHO	154	203	220	846	1771
345	SANSANA	6	SORGHO	166	205	222	859	1797
120	SANSANA	3	MAIS	156	207	217	859	1185
155	SANSANA	6	SORGHO	157	206	213	885	1335
256	SANSANA	8	SORGHO	153	206	224	892	2044
106	LABORO	6	SORGHO	159	205	223	898	2331
283	SANSANA	7	SORGHO	151	205	221	924	1797
163	LABORO	6	MAIS	156	206	213	1055	1667
347	SANSANA	15	MAIS	169	206	222	1276	2318

En culture attelée sans préparation (semis direct)

SITES	SOL	ANNEE PRECEDENT		DATES			RENDEMENTS	
				SEMIS	NPK	UREE	TEMOIN	NPK
998	LABORO	2	SORGHO	172	205	220	378	677
126	HANDE	6	ARACHIDE	171	205	217	423	677
350	SANSANA	7	MAIS	149	203	220	495	911
113	SANSANA	6	MAIS	169	203	223	508	1510
146	SANSANA	7	MAIS	159	206	220	612	1543
116	LABORO	10	MAIS	152	203	220	690	1354
342	LABORO	4	MAIS	176	209	220	716	1068
105	SANSANA	3	MAIS	159	203	210	931	1243
95	SANSANA	2	COTON	156	205	219	970	1673
164	SANSANA	11	SORGHO	168	207	217	990	1367
119	LABORO	13	COTON	158	207	217	1055	1296

En culture attelée avec préparation du sol

SITES	SOL	ANNEEPRECEDENT		DATES			RENDEMENTS	
				SEMIS	NPK	UREE	TEMOIN	NPK
186	SANSANA	8	MAIS	154	203	210	775	1289
343	SANSANA	11	SORGHO	150	203	220	807	1406
996	SANSANA	5	MAIS	172	206	221	807	1615
107	SANSANA	9	MAIS	157	204	221	833	1849
151	SANSANA	13	SORGHO	157	206	213	872	1484
100	LABORO	11	COTON	152	209	224	931	1654
104	SANSANA	8	MAIS	172	205	214	957	1296
217	SANSANA	5	SORGHO	156	206	213	1009	1738
129	SANSANA	2	COTON	153	200	212	1120	1510
142	SANSANA	8	SORGHO	154	203	222	1276	2409

Annexe 12 : Résultats de rendement en Kg/ha sur les unités de sols

Essais "matière organique"

MAIS 88	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	4	3	3	1
TEMOIN	2780	1368	1785	1867
NPK	4571	2872	4349	2995
MO	3333	1751	1912	2586
MO+NPK	5933	3541	4589	3664
RDT MOYEN	4019	2383	3159	2778
EFFICIENCE	18,5	15,5	26,4	11,6
AGE MOYEN	10,5	14,3	8	2

COTON 89	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	1	2	2	1
TEMOIN	1424	1019	954	721
NPK	2109	1866	1737	1034
MO	1737	1337	1315	794
MO+NPK	1979	2096	1914	1297
RDT MOYEN	1813	1579	1480	961
EFFICIENCE	6,5	8	7,4	3
AGE MOYEN	6	14	5,5	3

Essais "fertilisation"

COTON 88	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	3	3	2	3
TEMOIN	1107	1127	1670	1347
NPK	1578	1509	1763	1995
TIMAC	1468	1444	1879	1809
UREE	1135	1209	1692	1383
RDT MOYEN	1322	1322	1752	1634
EFFICIENCE	4,4	3,6	0,9	6,1
AGE MOYEN	6,3	10,3	6,5	4,3

COTON 89	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	2	1	3	2
TEMOIN	1256	417	569	1012
NPK	1759	841	1273	1543
TIMAC	1879	763	1149	1376
UREE	1496	763	692	1070
RDT MOYEN	1597	677	920	1250
EFFICIENCE	4,7	4	6,6	5
AGE MOYEN	12	17	5,3	4

MAIS 88	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	3	3	3	2
TEMOIN	2990	2100	1999	3324
NPK	4583	2676	4022	4577
TIMAC	4961	2827	3646	4552
UREE	4568	2060	3200	4071
RDT MOYEN	4275	2416	3217	4131
EFFICIENCE	16,4	5,9	20,9	12,9
AGE MOYEN	10,3	11	9,3	3,7

MAIS 89	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	2	1	2	3
TEMOIN	1601	1414	3025	2470
NPK	3519	3672	3386	4201
TIMAC	3086	2987	3373	3615
UREE	2213	2336	3377	2691
RDT MOYEN	2604	2602	3291	3245
EFFICIENCE	11,9	23,3	3,7	17,8
AGE MOYEN	9	17	6,5	4,3

Tests de réponse à la fertilisation minérale

TEST 88 CA	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	3	3	3	3
TEMOIN	898	1120	1076	1250
NPK	1714	1693	1710	1728
EFFICIENCE	7,7	5,4	6	4,5
AGE MOYEN	4,3	8,3	8	3,7

TEST 88 CM	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	3	3	3	3
TEMOIN	730	1041	877	1124
NPK	989	1211	1319	1463
EFFICIENCE	2,4	1,6	4,2	3,2
AGE MOYEN	3,7	11,7	8,3	3

TEST 89 CA	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	9	0	2	0
TEMOIN	937		944	
NPK	1615		1475	
EFFICIENCE	6,4		5	
AGE MOYEN	7,1		9,5	

TEST 89 CA SEMIS DIREC	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
B SITES	5	1	4	0
TEMOIN	715	423	710	
NPK	1401	677	1099	
EFFICIENCE	6,5	2,4	3,7	
AGE MOYEN	6,6	6	7,25	

TEST 89 CM	SANSANA	HANDE	LABORO	LABORO B
NB SITES	24	0	5	0
TEMOIN	670		719	
NPK	1355		1534	
EFFICIENCE	6,5		7,7	
AGE MOYEN	7,8		6	

Annexe 13 : Résultats des analyses minérales et chimiques effectuées sur les échantillons de fumier utilisé dans les essais "Matière organique".

<u>Eléments de constitution :</u>				
Elément	Moyenne	Maxi	Mini	Ecart type
Silice	49.2	60.6	39.1	6.4
Perte au feu	28.01	40.4	20.5	5.7
<u>Eléments chimiques totaux en % :</u>				
Elément	Moyenne	Maxi	Mini	Ecart type
Azote	1.26	1.84	0.75	0.36
Phosphore	0.32	0.49	0.18	0.12
Potassium	1.14	2.77	0.39	0.71
Calcium	1.48	2.82	0.30	0.90
Magnésium	0.54	0.77	0.29	0.16
<u>Eléments chimiques solubles dans l'eau en % de M.S. :</u>				
Elément	Moyenne	Maxi	Mini	Ecart type
Calcium	0.027	0.074	0.015	0.017
Magnésium	0.017	0.045	0.003	0.012
Potassium	0.568	1.350	0.148	0.395
Phosphore	0.031	0.058	0.011	0.013
Sodium	0.005	0.012	0.000	0.004
<u>Eléments chimiques extractibles au cobaltihexamine en % de MS :</u>				
Elément	Moyenne	Maxi	Mini	Ecart type
Calcium	0.473	0.740	0.267	0.141
Magnésium	0.190	0.325	0.028	0.083
Potassium	0.742	2.200	0.260	0.577
<u>Capacité d'échange en meq/100 g :</u>				
Elément	Moyenne	Maxi	Mini	Ecart type
CEC	40	60	20	11

DESCRIPTION OF THE ECOLOGICAL FRAGILITY AND OF THE AGRONOMICAL POTENTIAL OF THE AREA OF HOUNDE IN BURKINA FASO.

UTILIZATION OF VARIOUS TECHNIQUES OF DIAGNOSIS.

Abstract :

The area of HOUNDE in BURKINA FASO is changing rapidly because of the intensification of farming systems and because of the arrival of people coming from the unfavourable zones of the north of the country. In the face of those changes, the traditionally used means of conservation of the environment are gradually becoming useless. Many diagnosis techniques have been used in order to demonstrate the change of the agricultural landscapes and of the level of soil fertility. In about sixty sites distributed in two villages of this zone, the analysis of fertility indicators has proved that the critical levels designated in experimental plans has not been reached. Actually the agricultural production in cropping systems assures the population food self-sufficiency and income. The future of this area however cannot rely upon the continuation of this optimistic state. This study shows the dangers of a physical and chemical decline of the quality of the cultivated soils.

Résumé :

La région de HOUNDE au BURKINA FASO est en pleine mutation en raison de l'intensification des systèmes de production agricole et de l'installation de populations venant des zones défavorisées du nord du pays. Face à ces transformations, les méthodes de conservation du milieu naturel traditionnellement utilisées sont peu à peu dépassées. Plusieurs techniques de diagnostic ont été utilisées afin de mettre en évidence l'évolution des paysages agricoles et le niveau de fertilité des sols. Dans une soixantaine de situations culturelles, réparties dans deux villages de cette région, l'analyse des indicateurs de fertilité a montré que les seuils définis dans des dispositifs en milieux contrôlés ne sont pas encore atteints. La production agricole dans les systèmes de culture actuels assure aux populations autosuffisance alimentaire et revenus monétaires. L'avenir de cette région ne peut toutefois reposer sur ce constat optimiste et les dangers d'une dégradation physique et chimique des sols cultivés ressortent de cette étude.

Mots clés :

CONSERVATION DU MILIEU NATUREL
CLIMAT SOUDANO-SAHELIEN
BURKINA FASO
SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES
SYSTEMES DE CULTURE MAIS-COTONNIER
POTENTIALITES AGRONOMIQUES
DIAGNOSTIC - INDICATEURS DE FERTILITE
DEGRADATION - ACIDIFICATION - EROSION